le LABORATOIRE DE GENIE CHIMIQUE

Laboratoire de Génie Chimique
Basso Cambo
5 rue Paulin Talabot
BP 1301
31106 Toulouse cedex 1
Tél : 05 34 61 52 52

Laboratoire de Génie Chimique
Université Paul Sabatier
118, route de Narbonne
31062 Toulouse cedex 4
Tél : 05 61 55 67 99

http://lgc.inp-toulouse.fr
Mél : lgc-contact@ensiacet.fr

le LABORATOIRE DE GÉNIE CHIMIQUE
UMR 5503
TOULOUSE

RAPPORT D'ACTIVITÉ

2002/2005

ACTIVITY REPORT

SOMMAIRE
CONTENTS

MESSAGE DU DIRECTEUR / *A WORD FROM THE DIRECTOR* 2

LA SCIENCE / *SCIENCE*

L'activité scientifique / *Scientific activity* 6
Département Génie des Interfaces et des Milieux Divisés / *Department Interface and Particle Interaction Engineering* 6
Département Procédés Electrochimiques et Matériaux / *Department Electrochemical Process and Material Engineering* 32
Département Procédés et Systèmes Industriels / *Department Process and System Engineering* 48
Département Réaction, Mélange et Séparation / *Department Reaction Mixing and Separation* 68
Analyse de la production scientifique / *A survey of the scientific publications* 98
Perspectives / *Prospectus* 104

PRODUCTION SCIENTIFIQUE / *SCIENTIFIC PUBLICATIONS* 122

AUTOUR DE LA SCIENCE / *RELATED TO SCIENCE*

Positionnements / *National and international positionning* 166
Transfert et valorisation / *Technology transfer* 174
Activités contractuelles / *Industrial and academic collaborations* 178
Séminaires / *Seminars and congresses* 184
Les doctorants / *Post-graduate association* 189

Management et lien social / *Structure and management* 190
Ressources / *Financial and human ressources* 192
Formation / *Continuing education* 202
Sécurité / *Safety* 206

Rayonnement / *Professional activities* 208

MESSAGE DU DIRECTEUR

Le Laboratoire de Génie Chimique (LGC) est une Unité Mixte de Recherche (UMR) entre l'Institut National Polytechnique (INP) de Toulouse, l'Université Paul Sabatier (UPS) et le CNRS. Il est localisé sur deux sites à Toulouse, l'un dans la zone de Basso-Cambo, et l'autre au sein du Complexe Scientifique de Rangueil.
Plus de 200 personnes : enseignants-chercheurs de l'INP : à la fois de l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques (ENSIACET) et de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT) et de l'UPS (parmi lesquels des enseignants du département génie chimique de l'IUT), ITRF de l'INP et l'UPS, ITA du CNRS, chercheurs CNRS, doctorants et professionnels en stage post-doctoral. Ce fort potentiel fait du LGC l'un des plus grands laboratoires de recherche en génie des procédés au monde.
Ce rapport décrit l'activité du laboratoire au cours des quatre dernières années.

Préambule

Ce rapport d'activités doit répondre à plusieurs questions.
Pour un lecteur peu averti, qu'est-ce-que le génie chimique aujourd'hui, et plus généralement qu'est-ce-que le génie des procédés ? Que faisons-nous à Toulouse au sein du LGC, qu'avons-nous fait ces dernières années ? En quoi cette activité a-t-elle un sens pour l'augmentation des connaissances, pour l'activité économique régionale, nationale ou internationale ? Répondons-nous aux missions que nous ont assignées nos organismes de rattachement ?
Ce sont des questions simples et ce sont naturellement des réponses simples, courtes et claires qui sont recherchées.
Le rapport y répondra. Il est toutefois utile de préciser quelques éléments contextuels.

Génie des Procédés

C'est une curiosité toujours renouvelée que de devoir définir le génie des procédés.
Il ne viendrait à personne, sinon à un esprit malicieux, peut-être même mal intentionné, de demander la définition des mathématiques, de la physique des particules ou même des sciences politiques.
Qu'est-ce-que le génie des procédés ?
Beaucoup de réponses différentes peuvent être apportées, selon le point de vue que l'on adopte. Toutes sont vraies et contribuent à l'éclairage de notre discipline.

La meilleure réponse que peut donner le LGC est la consultation complète de ce rapport à l'issue de laquelle le lecteur aura une imprégnation significative, du moins nous l'espérons. Une autre réponse réside dans les définitions habituellement données, science de transformation de la matière et de l'énergie, science de conception des industries de procédés..., rien n'est satisfaisant, rien n'est très significatif. Voilà pourquoi, depuis une décennie, et de manière presque incantatoire, le génie des procédés se définit par rapport à des soucis contemporains, comme le développement durable, une éventuelle pénurie énergétique, la préservation de l'environnement, la prévention des accidents industriels, et autres.
Ainsi un premier niveau de réponse est apporté par l'introduction de notions telles que l'invention de procédés propres et sûrs, l'intensification de procédés, la miniaturisation qui en fait partie, de nouveaux aspects du contrôle et de la commande.
Un deuxième niveau de réponse est ce que nous pourrions appeler l'intensification scientifique consistant à s'enrichir sans cesse des avancées utiles pour notre corpus en mathématiques appliquées, physique des solides et des liquides, mécanique, chimie, biologie. C'est ainsi que se construisent nos démarches scientifiques.
La physique des fluides par exemple habite notre activité diphasique, qui elle-même nourrit notre axe milieux divisés, lequel débouche sur l'activité membranaire qui mène au traitement des eaux au sens large.
La biologie fonde notre activité liée aux systèmes microbiens, lesquels construisent notre axe bioprocédés et concourent à des applications variées et parfois inattendues.
Il est inutile de donner d'autres exemples, car à rester à un tel niveau de généralités, le lecteur pourrait nous faire ici un procès d'insignifiance.

Laboratoire de Génie Chimique

Pendant les quatre années, nous avons conforté nos quatre départements scientifiques, dispositif de meilleure efficacité qu'auparavant et surtout source de travaux collectifs entre diverses équipes. Peu à peu se sont affaiblies les lignes de partage entre équipes conduisant à des ensembles plus larges, toujours homogènes.
Trois faits au moins ont conduit à une révision de notre structure de travail.
Nous n'avons pas été des témoins de la déferlante 'nano' (pour reprendre le titre du Journal du CNRS d'octobre 2005). Notre laboratoire a conçu une unité de production de nanotubes de carbone, rassemblant ainsi ses compétences issues de l'élaboration

des matériaux, de chimie et son expérience ancienne de CVD, voire de manière plus lointaine son expérience de fluidisation. Ceci nous a conduit à détacher du département Procédés Electrochimiques et Matériaux (PEM) une part de l'activité matériaux. Le département est donc devenu Procédés Electrochimiques (PE). Il s'agit là d'une activité historique du laboratoire qui, ces dernières années, a connu des applications hardies en ingénierie médicale.
Nos progrès en simulation numérique, les collaborations internationales que nous y avons nouées, nos relations très resserrées avec le LAAS, l'avènement du projet IMPULSE, nous ont amené à développer une activité autour des microprocédés, qui a complètement fondu deux équipes au sein du même département Réaction, Mélange, Séparation (RMS). Encore une fois, nos départements sont un lieu de plasticité de l'activité scientifique et nous permettent de répondre à l'une des questions posées dans le préambule.
L'écotoxicité, l'ingénierie liée aux produits chimiques non-amicaux, aux produits biologiques de même nature, notre histoire aussi après l'accident AZF, nous ont fait nous renforcer sur les bioprocédés. Nous en avions le potentiel, nous avons découvert avec un bonheur non dissimulé que nous avions l'attractivité. Voici pourquoi, nous avons affiché l'existence du département Bioprocédés et Systèmes Microbiens (BioSym), issu principalement de l'ancien département RMS.
C'est cette transformation qui courra dans ce rapport d'activités, parmi bien sûr nos fondamentaux où des marges de progrès sont toujours attendues dans les années futures, en Procédés et Systèmes Industriels (PSI), département à la proue de l'ingénierie moderne, en Génie des Interfaces et des Milieux Divisés (GIMD), département le plus proche des sciences de base.
Notre laboratoire n'est jamais entré dans le débat recherche fondamentale-recherche appliquée ou finalisée. À bien y réfléchir, ce débat est toujours byzantin, fait souvent plaisir aux tenants du terme fondamental et n'a de mérite que d'occuper l'oisiveté, elle-même en mal de banalités.
C'est pourquoi, nous remercierons le lecteur bienveillant de ne pas chercher un quelconque positionnement de notre laboratoire sur un tel segment, qui nous l'espérons, s'effacera définitivement.

Environnement du LGC

Le LGC est attentif à son alentour, à ses voisins et aux autres.
L'avènement des pôles de compétitivité ne lui a pas échappé, et c'est pourquoi, il a été à l'initiative de réflexions non encore abouties à ce jour (novembre 2005) pour qu'à Toulouse se construise un large dispositif de recherche en ingénierie, rassemblant les laboratoires de la ville et produisant des recherches amont visant à fortifier à une échelle de temps non connue, mais voisine de cinq à dix ans les besoins des secteurs économiques identifiés, l'aéronautique et le secteur de la santé.
Le lecteur verra tout au long de ce rapport un ensemble de collaborations industrielles, toutes permettant de nourrir l'interrogation scientifique. Cet équilibre nous est précieux et c'est l'une de nos caractéristiques différentiantes.
Ce rapport est écrit dans une période compliquée (discussion du Pacte pour la Recherche, réforme du CNRS, modification du tissu industriel de notre pays, projet REACH, acronyme anglais pour système d'enregistrement, d'évaluation et d'autorisation des substances chimiques). Le lecteur ne verra aucune trace de ces turbulences qui par essence sont appelées à disparaître et être remplacées par d'autres turbulences.

Nous

Le lecteur verra au fil des pages, défiler des noms, des organigrammes, des organisations. Qu'il sache qu'il rencontrera un peu plus de 200 hommes et femmes, rassemblés dans une même mission, chacun avec ses aspirations, ses désirs, ses amertumes parfois, ses succès, ses enthousiasmes. Que le lecteur sache que notre cohésion est notre force, que notre unité, nous la préservons jalousement, non pas par un atavisme qui serait de très mauvais aloi, mais parce que nous serons à jamais fiers d'avoir surmonté tous ensemble, sur nos deux sites, une explosion, et aussi parce que le génie chimique est pluriculturel, pluri méthodes et que notre diversité, notre complexité, nos différences internes en tout genre sont un viatique nécessaire au progrès de notre science.

Joël BERTRAND
Directeur du Laboratoire de Génie Chimique

le LABORATOIRE DE GÉNIE CHIMIQUE
UMR 5503
TOULOUSE

LA SCIENCE
SCIENCE

DÉPARTEMENT
Génie des Interfaces et des Milieux Divisés (GIMD)

Introduction

1. Génération et transformation des milieux divisés : Approche phénoménologique des interfaces
Generation and transformation of solids and particles: phenomenological approaches to interface

2. Interactions hydrodynamiques dans les milieux dispersés denses
Hydrodynamic interactions in concentrated dispersed systems

3. Transfert et phénomènes interfaciaux
Interfacial phenomena and transport

4. Procédés d'élaboration de matériaux, procédés de séparation
Processes for fabrication of materials, separation processes

5. Développement de méthodes et techniques de caractérisation
Development of characterisation techniques

Introduction

Le département GIMD développe des recherches focalisées sur la génération d'interfaces (gaz/solide, solide/liquide ou liquide/liquide) ou sur l'étude des phénomènes dont elles sont le siège. Il couvre donc un large domaine de connaissances qui va de l'élaboration des interfaces (particule, cristal, dispersion, membrane ...) par différents procédés (cristallisation, broyage, séchage, enrobage, filage, CVD...) jusqu'à leur mise en œuvre dans des opérations unitaires (filtration, mise en contact, fluidisation...) voire dans des procédés complets (couplage d'opérations).
On peut distinguer deux niveaux d'approche, souvent intimement liés, dans les travaux de recherche qui sont développés. Le premier niveau concerne l'étude des mécanismes à l'échelle locale, c'est à dire à l'échelle de l'interface. Le second concerne l'innovation dans les procédés, par la recherche de nouveaux modes de génération ou de mise en œuvre des interfaces. L'ensemble des recherches conduites dans le Département, quel que soit le niveau d'approche, repose sur l'association de travaux théoriques et de travaux expérimentaux. Le développement d'outils de modélisation à différentes échelles et le développement d'outils méthodologiques et métrologiques spécifiques sont par conséquent au cœur de nos activités.

Le bilan scientifique de nos travaux est présenté dans ce rapport en les déclinant suivant 5 thématiques :
- Génération et transformation des milieux divisés : approche phénoménologique des interfaces
- Interactions hydrodynamiques dans les milieux dispersés denses
- Transfert et phénomènes interfaciaux
- Procédés d'élaboration de matériaux, procédés de séparation
- Développement de méthodes et techniques de caractérisation.

Pour chaque thématique, une présentation synthétique et non exhaustive des principaux résultats est proposée. Les références données au cours du texte permettent d'avoir accès à une présentation plus détaillée si nécessaire. En fin de paragraphe, quelques perspectives sont dressées pour chaque thématique.

DEPARTMENT
Interface and particle interaction engineering

Introduction

Research in the department of Interface and Particle Interaction Engineering (GIMD is its French acronym) is focused, on the one hand, on the production of interfaces (gas/solid, liquid/solid, liquid/liquid) and on the other hand, on the study of phenomena taking place at these interfaces. The spectrum is thus quite large. It covers a great variety of interfacial objects, such as particles, crystals, dispersions, membranes, ..., different kinds of processes that can be used for their production, such as crystallisation, grinding, drying, coating, spinning, CVD, ... Unit operations involving such interfaces are also concerned (filtration, fluidisation, contactors, ...) as well as complete processes to face specific production requirements.
Two levels can be distinguished. The first includes investigations concerning mechanisms on the local scale, i.e. on the scale of the interface. The second concerns the search for new modes of generating or using interfaces. In both cases, the research combines experimental and theoretical work. So the development of methods such as multi-scale modelling or dedicated metrologies is at the heart of our activities.
In this report, the key points of our work over the period are presented with respect to five different aspects:

1. *Generation and transformation of solids and particles: phenomenological approaches to interfaces*
2. *Hydrodynamic interactions in concentrated dispersed systems*
3. *Interfacial phenomena and transport*
4. *Processes for fabrication of materials, separation processes*
5. *Development of characterisation techniques*

For each aspect, the main results are presented. References provided along the text can be used to find a more detailed description. Some perspectives are drawn at the end of each section.

I Génération et transformation de milieux divisés : Approche phénoménologique des interfaces

1 Generation and transformation of solids and particles: phenomenological approaches to interfaces

P. Aimar, P. Bacchin, B. Biscans, B. Caussat, M. Clifton, J.P. Couderc, C. Frances, M. Hémati, N. Le Bolay, M. Meireles, J.L. Trompette

Les milieux divisés sont caractérisés par des aires d'interface importantes. Le fonctionnement et la mise en œuvre des procédés de transformation de ces milieux peuvent donc être limités par des phénomènes interfaciaux. Les études développées dans cette partie visent à comprendre les mécanismes mis en jeu aux interfaces afin de bâtir des lois phénoménologiques permettant de les décrire et de comprendre leur implication dans les procédés. Les résultats de ces travaux sont présentés ci dessous selon la nature de l'opération concernée.

I.1 Génération et structure des milieux divisés

Différentes opérations permettent la génération de la matière finement divisée. On peut distinguer les opérations de type top-down, comme le broyage, et les opérations de type bottom-up, comme la cristallisation de produit soluble ou la CVD.

Le procédé de broyage en voie humide (Francès et coll. 2004, Garcia et coll. 2004) est étudié avec comme objectif l'élaboration de suspensions de nanoparticules, concentrées et stables, possédant des fonctionnalités plus performantes. Ces travaux font l'objet d'une ACI Jeunes (2004-2007, coordonnée par Christine Frances) soutenue par le Ministère Délégué à la Recherche. La technologie des broyeurs à billes agitées permet de produire des fragments de dimension submicronique, mais en pratique, la production de particules de taille inférieure à quelques centaines de nanomètre est difficile à obtenir. La limitation du processus de réduction de taille peut être liée aux propriétés des matériaux (résistance à la rupture, propriétés structurales) ou aux propriétés des suspensions (viscosité, re-agrégation des fines particules produites) ou bien être d'ordre hydrodynamique. Une approche selon différents axes (approche mécanique, approche physico-chimique et approche hydrodynamique) a été envisagée et une équipe a été constituée, impliquant des chercheurs du LGC (UMR 5503), de l'IMFT (UMR 5502) du FAST (UMR 7608) et du BRGM (Orléans) ayant des compétences complémentaires.

Dans un procédé de cristallisation à partir d'une solution, la structure de la matière est fortement dépendante des conditions d'élaboration. Une étude spécifique a été effectuée sur les inclusions, impuretés pouvant être présentes dans les particules sous forme de poches macroscopiques d'eaux-mères. La présence de telles inclusions affecte les propriétés mécaniques et la qualité chimique des particules. Les problèmes posés sont donc d'une part de mettre au point une méthodologie pour isoler et comprendre les différents processus à l'origine des inclusions et d'autre part de relier ces mécanismes aux paramètres du procédé. Une méthode originale de caractérisation des inclusions par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) a été mise au point (Dumas et coll. 2002). Les résultats (thèse de Marie Dumas, Cifre RHODIA) ont montré qu'il existe deux types d'inclusions dans le produit organique étudié: des eaux mères piégées au sein du cristal dans des micropores générés par des défauts de structure lors de phénomènes d'instabilités de croissance des cristaux et des cavités plus grosses dues à l'agglomération (les eaux mères sont alors piégées aux joints

Divided solids and particles are characterised by large interface areas. The unit operations for solids processing can be limited by phenomena occurring at interfaces. The aim of the research developed in this part is to understand the mechanisms of interfacial phenomena in order to build phenomenological laws describing these mechanisms and to integrate them into process modelling.

1.1 Generation and structure of solids and particles

Different unit operations are used for generating divided solids and particles. They can be top-down operations, like grinding, or bottom-up operations like crystallisation from solution or Chemical Vapour Deposition (CVD).

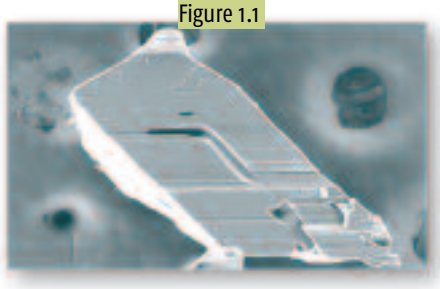
The capability of wet grinding processes for producing stable and dense suspensions of nano-particles having new and improved properties is under study (Francès et al. 2004, Garcia et al. 2004). This work is co-ordinated by Christine Frances within the framework of a French national program ACI Jeunes (2004-2007) financed by the French Ministry of Research. Stirred bead mills can produce submicronic particles, but in practice the production of fragments smaller than a few hundreds of nanometres is difficult to achieve. The limitation in the size reduction process may be linked to the material's mechanical properties (breakage resistance, structural properties) or to the physico-chemical conditions (viscosity, re-aggregation of fines) or due to the hydrodynamics inside the mills. A methodology based on three main directions of advance (mechanical, physico-chemical and hydrodynamic approaches) was thought out and a team made up with researchers having complementary competence and belonging to LGC (UMR 5503), IMFT (UMR 5502), FAST (UMR 7608) and BRGM (Orléans).

In a crystallisation process from solution, the material structure is strongly dependent on the operating conditions. One of our studies was devoted to inclusions in crystals. Inclusions of mother liquor are often found: they can affect the mechanical properties of the crystals and constitute an impurity. The problem was to find a way of isolating and understanding the different mechanisms that create inclusions during crystallisation and to link these phenomena to process parameters. An original method was designed to characterise inclusions using Differential Scanning Calorimetry (DSC) (Dumas et al. 2002). The results (PhD of Marie Dumas, Collaboration with RHODIA company) showed that two types of inclusions exist for the organic product studied: mother liquor can be entrapped in the crystal structure in micro-pores generated by instabilities in the growth of the crystal faces and larger cavities are generated by agglomeration of existing crystals (mother liquor is then entrapped between two grains). Two operating parameters were found to have a major influence: the initial solute concentration in the

DÉPARTEMENT GIMD

de grains). L'impact significatif de deux paramètres opératoires, la concentration initiale en soluté et le profil de refroidissement, a été démontré. Les derniers résultats de cette thèse ont été directement appliqués à l'échelle industrielle. La confidentialité des résultats a été demandée par le partenaire industriel (Rhodia).
Par ailleurs, pour une substance donnée, de formule chimique définie, il existe dans certains cas, plusieurs structures cristallines possibles. Ces changements de structures cristallines induisent généralement des changements de forme extérieure des cristaux. Ce phénomène est appelé polymorphisme. L'étude réalisée en collaboration avec le groupe Pierre Fabre (thèse de Sébastien Teychene, BDI CNRS Pierre Fabre) a pour but de comprendre l'influence des paramètres (physico-chimiques et hydrodynamiques) du procédé de cristallisation, sur les formes cristallines de l'éflucimibe, principe actif pharmaceutique cristallisé dans des mélanges de solvants éthanol- heptane. Deux polymorphes de conformation ont été mis en évidence à l'aide de méthodes de caractérisation spécifiques (DSC,RX, MEB) (Teychené et coll. 2003). Des modèles de nucléation ont été établis pour définir les domaines d'apparition des deux polymorphes (Teychené et coll. 2004). Par ailleurs, des études réalisées en rhéologie des suspensions ont permis de mettre en évidence qu'au cours du procédé de cristallisation, à partir d'une concentration en particules seuil, la suspension évolue vers un arrangement fractal , de type gel, par un mécanisme d'agrégation DCLA.
Depuis mi-2001, en étroite collaboration avec le LCCFP, une étude expérimentale est menée concernant la synthèse par CVD catalytique en lit fluidisé, de nanotubes de carbone multi-parois. Les propriétés mécaniques, électriques, optiques, ... exceptionnelles de ces matériaux laissent augurer de vastes possibilités d'application. L'un des verrous qui freine leur usage industriel actuellement concerne la mise au point de voies de synthèse permettant d'atteindre des capacités de production significatives. Le procédé de CVD catalytique en lit fluidisé est à cet égard très clairement le plus prometteur.
L'objectif des travaux est d'étudier l'influence des paramètres opératoires clés, et de progresser dans la compréhension des mécanismes en jeu, afin d'optimiser l'efficacité catalytique, le rendement en carbone et la sélectivité du procédé. Les premières études ont été menées dans un réacteur de 5 cm de diamètre, qui correspondait à un premier changement d'échelle par rapport aux installations de 2 cm du LCCFP. Avec le soutien de l'ANVAR, puis en partenariat avec ARKEMA (ex ATOFINA), deux unités pré-pilotes de 8 et 16 cm de diamètre ont été construites au LGC, qui ont permis d'atteindre des productivités parmi les plus fortes au plan international, et qui ont motivé un transfert de technologie et une option sur cession de licence exclusive avec ARKEMA, qui revendique aujourd'hui des productions de 5 tonnes par an sur son site de Lacq. Actuellement, les travaux visent à développer un modèle de simulation du procédé, afin d'affiner l'optimisation des conditions d'élaboration et d'aider aux phases de changement d'échelles, qui devraient se poursuivre chez le partenaire industriel (post doc d'A. Morançais, thèse CIFRE de R. Philippe, collaboration LCCFP, ARKEMA).

Figure 1.1



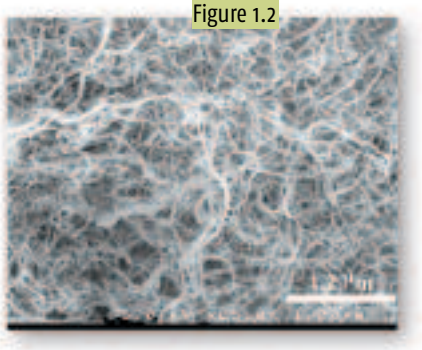
Inclusions au sein d'un cristal

solution and the cooling profiles. The final results of the study were directly applied on an industrial level and are confidential.
For a given substance, of given chemical composition, several crystalline structures can in some cases be found, having different crystal shapes: this phenomenon is called polymorphism. A study developed in collaboration with the PIERRE FABRE pharmaceutical company (PhD of Sébastien Teychene) aimed at understanding the influence of crystallisation process parameters (physico-chemical and hydrodynamic) on the crystal structure of eflucimibe, an active substance obtained by crystallisation in ethanol-heptane mixtures. Two conformational polymorphs were found by combining specific characterisation methods (DSC, X-ray scattering, SEM) (Teychené et al. 2003). Nucleation models were tested to define the zones where each polymorph exists (Teychené et al. 2004). Moreover, rheology studies carried out on the crystallised dense suspensions showed that beyond a certain volume fraction of particles, the suspension moves toward a gel-like fractal organisation, with a DLCA (diffusion-limited cluster aggregation) mechanism8.
The unusual mechanical, electrical and optical properties of carbon nanotubes allow several applications to be envisioned: a major problem is to produce large enough quantities of nanotubes for industrial use. The process using Chemical Vapour Deposition (CVD) for forming carbon nanotubes in a catalytic fluidised bed is well adapted for large-scale production. Since 2001 an experimental study has been under way in collaboration with LCCFP. The key operating conditions have been studied for their influence on the mechanisms involved in determining catalytic efficiency, carbon yield and process selectivity. First a 5 cm diameter reactor was used, then with the support of ANVAR and ARKEMA, two pilot plants were built in the laboratory (8 cm and 16 cm in diameter). The production rate of carbon nanotubes obtained using this process was then one of the highest in the world. The process has now been transferred onto the industrial level (5 tons/year) with ARKEMA. Our studies now deal with the simulation of the process, for optimising the operating conditions (post-doc of A. Morancais, PhD of R. Philippe, collaboration with LCCFP and ARKEMA).

1.2 Size enlargement of powders and suspensions

As well as generating interfaces, crystallisation, co-grinding or granulation can be used to create specific properties in particles. The PhD thesis of Daniel Amaro Gonzalez (ALFA programme with Cuba) analysed the potentialities of spherical crystallisation for generating agglomerates or grains having the texture (size, size distribution, specific surface area, porosity) and the structure

Figure 1.2



Enchevêtrements de nanotubes de carbone
(Image par MEB FEG)

I.2 Mise en forme des poudres et suspensions

Une fois les interfaces générées, il est nécessaire de conférer au milieu, mettant en œuvre ces interfaces, des propriétés spécifiques par cristallisation, par co-broyage ou par granulation.
L'objectif de la thèse de Daniel Amaro-Gonzalez (Programme Alfa avec Cuba) est d'analyser les potentialités de la cristallisation sphérique pour élaborer des agglomérats ou grains possédant la texture (taille, distribution de taille, surface spécifique, porosité) et la structure (dureté, cristallinité) permettant de leur conférer directement des propriétés d'usage spécifiques. La cristallisation sphérique d'un principe actif pharmaceutique, le lobenzarit, est étudiée pour montrer l'influence des solvants de cristallisation et des paramètres du procédé. Le procédé met en œuvre une agglomération sphérique (SA) et consiste à provoquer la cristallisation de fines particules puis à les agglomérer par l'addition dans la suspension, sous forme d'une émulsion, d'un liquide non miscible (liant). La méthode utilisée pour mesurer la mouillabilité d'un solvant vis-à-vis de particules est fondée sur la détermination de l'ascension capillaire d'un liquide dans un lit de poudre tassé (test de Washburn) (Amaro-Gonzales et al. 2002). Un mécanisme d'agglomération des particules est proposé. Il fait intervenir la taille des gouttelettes de liant par rapport à celles des cristaux en suspension.

Les propriétés de matériaux composites constitués d'un polymère et d'une charge, produits par co-broyage, ont également été étudiées (thèse de Céline Zapata-Massot). Ainsi, dans le cadre d'une collaboration avec S. Molina-Boisseau du CERMAV de Grenoble, il a été démontré que les propriétés mécaniques d'un composite chargé de carbonate de calcium ou de nanotubes de carbone sont nettement améliorées par rapport à celles obtenues par simple mélange. Les nanotubes de carbone améliorent également les propriétés électriques. La caractérisation de l'interface matrice-charge par une étude de la mouillabilité du solide par différents liquides a permis d'expliquer l'amélioration des propriétés du composite par une augmentation de l'adhésion à l'interface matrice – charge.

Dans le domaine de l'enrobage et de la granulation de particules solides par la pulvérisation de solutions aqueuses de liants (polymères ou sels minéraux), l'objectif essentiel de nos travaux est de développer des méthodologies prédictives et des outils d'investigation tant sur le plan expérimental que théorique permettant de mieux choisir les paramètres physico-chimiques locaux et de procédé de mise en forme de produits pulvérulents afin d'assurer des propriétés d'usage bien définies des produits finaux. Une approche au

(hardness, crystallinity) that would allow specific end-use properties to be obtained directly. Spherical crystallisation of an active substance, lobenzarit, was studied to determine the influence of process parameters and of the crystallisation solvents used. The process of Spherical Crystallisation (SC) consists in precipitating fine crystals of a drug substance then aggregating them by adding to the suspension an immiscible liquid (binder) that forms an emulsion. The ability of the binder to wet the particles was determined by measuring the capillary ascension of a liquid through a tapped bed of powder (Washburn test) (Amaro-Gonzales et al. 2002). An agglomeration mechanism was proposed, based on the size of the suspended particles relative to the binder droplets.
The properties of composite materials produced by co-grinding of a polymer and a filler were studied (PhD thesis of Céline Zapata-Massot) in collaboration with CERMAV (S. Molina-Boisseau) in Grenoble. It was shown that the mechanical properties of a composite loaded with calcium carbonate or carbon nanotubes, were significantly better those obtained by simple mixing. Carbon nanotubes also improved electrical properties. A wettability study was performed to characterise the matrix-load interface. Several liquids were used to explain the improvement in the composite properties by an increase of adhesion between the matrix and the load.
Coating and granulation of solid particles by spray drying aqueous solutions of binder (polymers or mineral salts) has been studied to develop experimental and theoretical tools for predicting how local physico-chemical properties are linked to process parameters, in order to obtain specific product properties. A molecular-level approach was used to predict solvent affinity with the solid substrate: solubility parameters were determined by molecular simulation. The interaction energies were described by a usual force field and sampling of the system was performed by molecular dynamics. This method of numerical experimentation can be used for all the molecules, in liquid or solid phase, enabling suitable comparisons (PhD thesis of Mohammed Benali). The model was validated by wet-granulation experiments carried out in different types of reactors: high-shear-rate stirred granulators (10 litres) and fluidised-bed reactors of various capacities.

1.3 Dispersion of particulate media

Control of the dispersion of particulate media is very important in process design but also from an environmental point of view.
In collaborative work between CIRIMAT, LMTG and LGC, a new lubricating material was created having useful properties at high temperature by introducing talc particles into

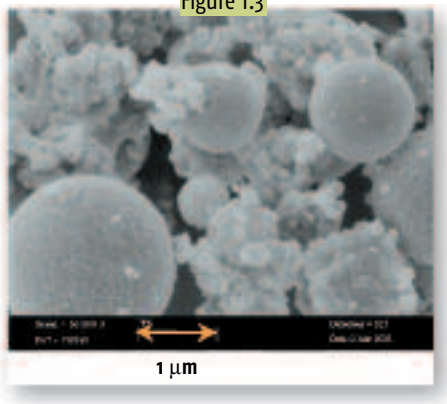
DÉPARTEMENT GIMD

niveau moléculaire est mise en œuvre pour prédire l'affinité du solvant et du substrat solide. Les paramètres de solubilité sont déterminés par simulation moléculaire. Les interactions énergétiques sont décrites par un champ de force usuel et l'échantillonnage du système est réalisé par dynamique moléculaire. En outre, cette technique d' " expérimentation numérique " peut être utilisée avec toutes les molécules, liquides ou solides, permettant ainsi des comparaisons relatives pertinentes (thèse de M. Benali).
La validation des prédictions des modèles est effectuée par des essais de granulation humide, réalisés dans différents types de réacteurs, granulateur mécaniquement agité à fort taux de cisaillement (capacité de 10 litres) et réacteurs (lits fluidisés) de capacité variable.

I.3 Dispersion des milieux divisés

La maîtrise de la dispersion des milieux constitue un point clé vis à vis du fonctionnement des procédés ou de leur impact sur l'environnement.
Dans le cadre d'une collaboration entre le CIRIMAT, le LMTG et le LGC, des recherches ont débouché sur la mise au point d'un nouveau matériau lubrifiant à haute température devant ses propriétés à la présence de particules de talc. Pour atteindre les spécifications recherchées, il s'est agi de maîtriser la formulation de la dispersion de particules de talc (particules hydrophobes) dans un bain électrochimique. Pour cela, les particules de talc ont été rendues hydrophiles par adsorption de CarboxyMethylCellulose permettant leur dispersion dans le bain électrochimique et par la suite leur dépôt dans le matériau. Ce procédé a fait l'objet d'un brevet (Bacchin et coll., 2005, brevet 2004) et a été récompensé par le premier prix " laboratoire de recherche " de l'Adermip en 2004.
Dans le cas des poudres sèches, les particules ultra-fines de dimension sub-micronique constituant les nanopoudres peuvent être sous forme individuelle ou d'agglomérats plus ou moins cohésifs. A l'heure actuelle des questions restent posées quant à l'impact éventuel sur la santé humaine. En effet, des études toxicologiques portant sur des particules ultra-fines ont été menées chez l'animal. Elles montrent qu'à dose (massique) et composition chimique équivalente les effets induits (inflammation, tumeurs) sont plus importants lorsqu'il s'agit de particules ultra-fines que lorsqu'il s'agit de particules microniques. Par ailleurs, les propriétés de surface semblent jouer un rôle dans la toxicité. Mais si le risque pour la santé lié à l'inhalation dépend de la dangerosité (toxicité) potentielle du matériau, il dépend aussi de la fraction dispersée dans l'air sous forme d'aérosol et pouvant être inhalée lors d'une manipulation par un opérateur. En conséquence, l'objectif du projet élaboré en partenariat avec l'INRS, le LET et le LSGC est d'apporter des éléments de connaissance sur la dispersion dans l'air en champ proche d'un aérosol ultra-fin lors de la manipulation d'une nanopoudre (thèse BDI INRS de Nelson Ibaseta, ACI MRT DINANO , Emission d'aérosols ultrafins lors de la manipulation de nanopoudres, 2004-2008)

Figure 1.3



Elaboration de microparticules en lit fluidisé

a metal base. To allow the initially hydrophobic talc particles to be dispersed in an electrochemical bath and then deposited in the metal substrate, the formulation of the bath required some study: the dispersed particles were made hydrophilic by adsorption of carboxymethyl-cellulose (Bacchin et al., 2005). This process was patented and in 2004 ADERMIP awarded it their first prize for a research laboratory.
In the case of dry powders, the ultrafine particles of submicronic size constituting nanopowders can exist individually or can form more or less cohesive agglomerates. Today many research studies raise worries about their impact on health. Experiments on animals have shown that inhalation of poorly soluble ultrafine particles can cause inflammatory reactions in the lungs. Ultrafine aerosols make up a dynamic system that evolves over time. Although there is some knowledge of the mechanics of ultrafine particles, it is not known what has the greatest effect: particle concentration, surface concentration, mass concentration. Moreover what particle size should be defined as the limit and how should aggregates of nanoparticles be considered? The DINANO Project is a 3-year research project dealing with emission of ultrafine aerosols during handling of nanopowders: it brings together four French research laboratories (INRS, LET, LSGC and LGC) that have specialists from the different scientific disciplines needed to treat the problem. It is financed by the French Ministry of Research. (PhD of Nelson Ibaseta, ACI MRT DINANO , Emission d'aérosols ultrafins lors de la manipulation de nanopoudres, 2004-2008, Coordinator : Béatrice Biscans).

1.4 Concentration of particulate media

In a lot of cases physical or physico-chemical treatment of colloidal suspensions, such as filtration or compression, are used to modify their concentration or their organisation so as to give the fluid a required texture or to facilitate their separation from the medium in which they are dispersed. The approach aims at developing models or experimental devices that can describe the physics or physical chemistry of the system at a local level in order to be able to integrate them into a macroscopic description of a process. The mechanisms and scales of rearrangement of particles submitted to a pressure or to a lubrication force were studied. A local approach to the microstructure was obtained with small-angle neutron scattering measurements (INSTITUT LAUE LANGEVIN, Grenoble). It was shown that one of the main consequences of the rearrangement was the creation of a homogeneous network of small pores (of about 10 to 40 particle diameters) and of heterogeneities taking the form of dense grains (Madeline et al., 2005).

I.4 Concentration des milieux divisés

Dans de nombreux cas, des traitements physiques et/ou physico-chimiques comme la filtration ou la compression sont utilisés soit pour modifier la concentration, soit pour modifier l'organisation d'une dispersion colloïdale afin par exemple de conférer au fluide une certaine texture ou de faciliter leur séparation du milieu dans lequel ils sont dispersés. On cherche ainsi à développer des approches (modèles, dispositifs expérimentaux) qui rendent compte de la physique et de la physico-chimie de ces systèmes à l'échelle locale, approches qui peuvent ensuite être intégrées dans la description plus macroscopique d'un procédé. Nous avons étudié les modes et les échelles de réarrangement des particules lorsqu'elles sont soumises à une pression ou à une force de drainage. Cette étude locale de la microstructure a été réalisée par diffusion de neutrons aux petits angles (Institut Laue Langevin, Grenoble). Nous avons montré que la conséquence principale du réarrangement est la formation d'un réseau homogène de petits pores (de l'ordre de 10 à 40 diamètres de particules) et d'hétérogénéités sous la forme de grains denses (Madeline et coll. , 2005) . Un modèle local de consolidation basé sur la description de l'équilibre mécanique dans un agrégat de 50 particules a été développé et validé (thèse J.B. Madeline, ACI " transport d'eau dans les agrégats colloïdaux, Ministère de la Recherche, collaboration PMMH, LPS, Orsay, CEMES Toulouse). Des études ont aussi été menées pour identifier le rôle de la spécificité ionique et notamment de la différence d'hydratation des ions (cosmotropie et chaotropie) sur la modulation du flux de perméat en ultrafiltration de dispersions colloïdales de silice.

I.5 Perspectives

Les perspectives de recherche de cette thématique s'articulent autour des quatre axes précédemment présentés. Dans tous les cas, les actions structurantes associant des laboratoires voisins (CIRIMAT, LCCFP, FERMaT) ou des programmes nationaux (ACI, GDR) ainsi que le partenariat avec l'industrie continueront d'être privilégiés. L'expertise acquise ces dernières années sur les solides divisés sera valorisée. L'un des axes émergeant à court terme concerne la génération et la maîtrise de la stabilité de nanoparticules et de nanostructures

Concernant la génération et la structure des milieux divisés, pour le procédé de nanobroyage, une analyse plus fine de l'hydrodynamique des broyeurs à billes conduisant à la fragmentation sera envisagée afin de définir les limitations de ce procédé (taille minimale des fragments pouvant être obtenus). Pour le procédé de cristallisation, les efforts pour mettre au point des méthodes de suivi de la formation de ces structures en cours de procédé, seront poursuivis : DSC, microscopie environnementale, capteur optique.

La synthèse de nanostructures diverses sera poursuivie, pour synthétiser des nanofils en silicium à partir de silane, par CVD catalytique en lit fluidisé ou encore former des nanotubes de carbone sur substrats plans.

Concernant la mise en forme des poudres et des suspensions, les recherches sur la cristallisation sphérique dans des gouttelettes (nanocapsules, nanosphères) seront focalisées sur le développement d'outils métro-

A local model of consolidation based on the description of the mechanical equilibrium in a 50 particle aggregate was developed and validated (PhD thesis of Jean-Baptiste Madeline). The influence of ionic specificity and the differences in ion hydration (cosmotropy or chaotropy) were also studied to show how they modulate permeate flux during ultrafiltration of silica colloidal dispersions 10.

1.5 Perspectives

The research prospects in this field can be grouped around the four lines of work presented above. In all cases, major projects involving neighbouring laboratories (CIRIMAT, LCCFP, FERMaT) or national programmes (ACI, GDR) as well as partnership with industry will continue to be promoted. The expertise on divided solids acquired in recent years will be applied. One of the directions that seems important in the near future is related to the generation and stabilisation of nano-particles and nano-structures.

Concerning the generation and the structure of divided solids, in the process of nano-grinding, a more detailed analysis will be performed of the hydrodynamics of ball grinders that leads to fragmentation, so as to define the limits of the process (minimum size of fragments that can be obtained). In the crystallisation process, new methods will be developed that will allow the formation of these structures during the process to be monitored: DSC, environmental microscopy, optical probe.

The synthesis of various nanostructures will continue: in particular the synthesis of silicon nanothreads from silane by catalytic CVD in a fluidised bed or the formation of carbon nanotubes on a flat substrate.

Concerning the shaping of powders and suspensions, work on spherical crystallisation inside droplets (nanocapsules, nanospheres) will focus on the development of suitable metrological and numerical tools that will make it possible to formulate and establish laws of behaviour that couple physico-chemical inter-particle interactions with the local flow field (shear, concentration, ...).

As for the production of composite materials by co-grinding, various systems will be tested (van der Waals, Lewis acid-base, electron donors and acceptors) so as to determine how interactions can affect the end-use properties of these composite materials.

Concerning the dispersion of divided solids, nano-powder aerosols will be characterised in terms of granulometry, concentration and other characteristic parameters (state of agglomeration, shape, density, electric charge, chemical composition, ...). Trajectories of nano-particles under stress will be modelled.

In the field of concentration of divided solids, activities firstly centred on solid-liquid separations will be extended towards the generation of nano-structured materials formed by filtration, compression or drying of dispersions. These activities will follow that same multidisciplinary approach that was used for studying rearrangement processes in a filter cake, an approach combining experiments, modelling and simulation.

DÉPARTEMENT GIMD

logiques et numériques adaptés permettant de décrire et de valider des lois de comportement couplant interactions physico-chimiques inter-particulaires et champ hydrodynamique local (cisaillement, concentration...).
En ce qui concerne la production de matériaux composites par co-broyage, il s'agira de tester différents systèmes particulaires (Van der Waals, acide-base de Lewis, caractères donneurs ou accepteurs d'électrons) afin de définir comment les interactions peuvent agir sur les propriétés d'usage des matériaux composites.
Pour la dispersion des milieux divisés, la caractérisation des aérosols de nanopoudres en termes de granulométrie, de concentrations et autres paramètres caractéristiques (état d'agglomération, forme, densité, état de charge électrique, composition chimique...) sera développée et la modélisation des trajectoires des nanoparticules lorsqu'elles sont soumises à une contrainte sera abordée.
Concernant la concentration des milieux divisés, les activités d'abord centrées sur les séparations solide-liquide s'élargissent vers la génération de matériaux nanostructurés formés par filtration, compression ou séchage de dispersions. Ces activités procèdent de la même approche pluridisciplinaire que celle qui a présidé à l'étude des processus de réarrangement dans un dépôt de filtration, associant expérimentations, modélisation et simulation.

2 Interactions hydrodynamiques dans les milieux dispersés denses

M. Clifton, E. Climent, M. Hémati, O. Masbernat

Cette thématique regroupe les activités du département relatives à la modélisation locale du champ hydrodynamique d'un milieu divisé sous écoulement, par voie expérimentale et numérique. Les approches microscopiques (type BSR ou DNS) et macroscopiques (modèle statistique), à même de prendre en compte les effets de concentration et/ou d'évolution de l'aire interfaciale (agrégation, fragmentation), y sont développées.

2.1 Simulation numérique directe (DNS) dans les suspensions solide-liquide

Le modèle de DNS développé permet de résoudre les perturbations de vitesse induites dans l'écoulement par le mouvement des particules et donne ainsi accès directement aux interactions hydrodynamiques. Les variations de vitesse de sédimentation de particules solides en fonction du taux de présence et du nombre de Reynolds ont pu être déterminées (Climent et coll., 2003). La vitesse de sédimentation et l'intensité des fluctuations sont fortement liées à la microstructure de la suspension (Fig. 2.1). Pour certaines configurations de suspensions polydispersées, on a pu observer le développement d'une instabilité qui tend à séparer

2 Hydrodynamic interactions in concentrated dispersed systems

M. Clifton, E. Climent, M. Hémati, O. Masbernat

This topic brings together research on local modelling of the hydrodynamic flow field in dispersed media: studied both experimentally and numerically. Microscopic approaches (LBM or DNS type) and macroscopic approaches (statistical models) are both developed, with the aim of accounting for concentration effects and/or the rate of change of interfacial area resulting from aggregation or fragmentation processes.

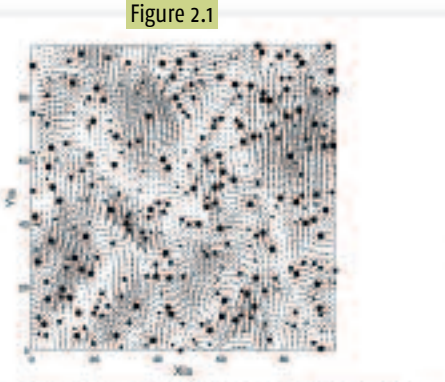
2.1 Direct Numerical Simulation in suspensions

The DNS model developed here calculates flow velocity perturbations induced by the presence of particles, giving direct access to the hydrodynamic particle-flow interactions. The variation of settling velocity with particle concentration and Reynolds number has been determined (Climent et al., 2003). The settling velocity and the intensity of the fluctuations are strongly dependent on the suspension microstructure (Fig. 2.1). For some flow configurations with polydisperse suspensions, an instability was found to develop, leading to a vertical segregation of the particle populations. In the case of a sheared suspension, the influence of the inertia of fluid and particles on the fluctuations in the dispersed phase needs to be modelled (PhD thesis of Micheline Abbas, FSE, FERMaT/LGC/IMFT project). Recently, attention was focused on the formation and motion of self-organised structures submitted to an external force. In the case of paramagnetic particles submitted to an external magnetic field (Fig. 2.2), spontaneous formation of long particle chains can be observed (Climent et al., 2003).

2.2 Flow simulation in dispersed media using the Lattice Boltzmann method (LBM).

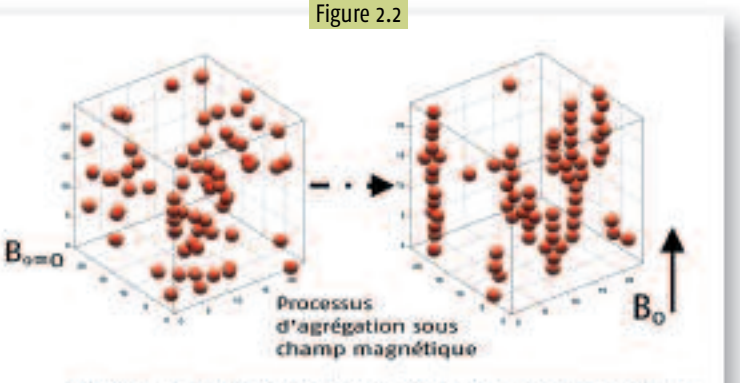
Unlike more traditional techniques, LBM makes it possible, at reasonable cost, to calculate flow in a complex and finely divided solid geometry (such as porous media), or to take account of the physicochemical properties of the fluid. Its application to flow through compressible filter cakes of yeast cells has shown that the hydraulic resistance is controlled by the first cell layer in contact with the membrane (Meireles et al., 2004). Flow through deposits of fractal aggregates is also calculated using this method (Fig. 2.3). The first results show a clear dependence of the cake structure under constraint and its hydraulic permeability on the strength of inter-particle forces (collaboration with LPS,

Figure 2.1



Ecoulement induit par la sédimentation d'une suspension monodisperse.

Figure 2.2



Chaînes de particules dans une suspension paramagnétique

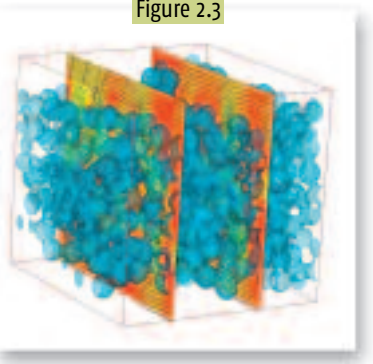
les populations de particules. Dans le cas d'une suspension cisaillée, il est important de modéliser l'influence de l'inertie du fluide et des particules sur l'agitation de la phase dispersée (Thèse Micheline Abbas, FSE, projet FERMaT/LGC/IMFT). Plus récemment, l'attention s'est dirigée vers la création de structures supra-particulaires dont on désire contrôler précisément l'arrangement et le déplacement. Dans le cas de particules paramagnétiques soumises à un champ magnétique externe (Fig. 2.2), on observe la formation spontanée de longues chaînes de particules (Climent et coll., 2003).

2.2 Simulation des écoulements en milieu dispersé par la méthode de Boltzmann-sur-réseau (BSR)

Par rapport aux techniques classiques, cette approche permet, en particulier, de calculer un écoulement dans une géométrie solide très divisée et de tenir compte des propriétés physico-chimiques des fluides. Son application aux dépôts compressibles constitués de levures a permis de démontrer que la résistance hydraulique du dépôt était essentiellement due à la première couche de cellules au contact de la membrane (Meireles et coll., 2004). L'écoulement dans des dépôts d'agrégats fractals écrasés a également été calculé à l'aide de cette méthode (Fig. 2.3). Des premiers calculs ont montré la relation entre l'intensité des forces interparticulaires, la structure du dépôt sous contrainte et sa résistivité hydraulique (collaboration LPS d'Orsay).

Actuellement l'application de cette méthode s'étend vers les écoulements avec change-

Figure 2.3



Dépôt d'agrégats fractals avec l'écoulement de perméation matérialisé sur deux plans

Orsay). This method is currently being applied to capillary flows with phase change using a single probability density function for both flow and heat transfer. A more traditional BN scheme is also used to calculate flow of colloidal dispersions with phase change, considering the colloidal phase as analogous to a vapour (PhD thesis of Benjamin Piaud, French Ministry of Research).

2.3 Solid phase fluctuations in a liquid fluidised bed

A numerical model derived from the kinetic theory of granular media has been successfully tested in the case of solid-liquid fluidisation. The validation of the model relies both on the evaluation of statistical averaged quantities (granular pressure, solids-fraction variance) as a function of the mean solids fraction in the bed and on the analysis of the unsteady motion of the particles (density spectrum of the solids fraction, development of concentration planar waves at high phase fraction, Fig. 2.4), (PhD thesis of Frédéric Gevrin 97-02, FERMaT/IMFT project). As a continuation of this work, an experimental study of the fluctuating motion of the solid phase as a function of the mean solids fraction and of the Stokes number is currently under way (using 3D trajectography in media of matched refractive index), (PhD thesis of Alicia Aguilar-Corona, sponsor CONACYT, collaboration with UNAM, Mexico, FERMaT/LGC/IMFT project).

2.4 Gas-solid flows

The objective here is to describe on a local scale the hydrodynamic field in the riser of a circulating fluidised bed (FCC type). Experimental data (pressure and mass-flux profiles), collected on a pilot rig have been compared with numerical simulations performed using a two-phase statistical model (derived from the kinetic theory of granular media). The axial profiles of pressure gradients for various flow parameters are well reproduced by the model (Fig. 2.5). On the other hand, the model cannot correctly predict the decrease in the net solid mass fluxes seen in the wall region (PhD thesis of Régis Andreux 98-02, sponsored by TOTAL/GDF/IFP, collaboration with IMFT). A tracing method allowed the axial dispersion of the solids along the riser to be quantified and showed that the Peclet number was an increasing

DÉPARTEMENT GIMD

ment de phase à l'aide d'une " probability distribution function ", pdf, unique (pour l'écoulement et le transfert de chaleur). Un schéma BSR plus classique est également appliqué au calcul de l'écoulement avec changement de phase d'une suspension colloïdale, en considérant la matière colloïdale par analogie avec une vapeur (thèse en cours de Benjamin Piaud, MESR).

2.3 Fluctuations de la phase solide dans un lit fluidisé

Un modèle de simulation numérique issu de la théorie cinétique des milieux granulaires a été testé avec succès dans le cas de la fluidisation solide-liquide. La validation repose à la fois sur l'évaluation de grandeurs statistiques moyennes (pression granulaire, variance de la fraction solide) en fonction de la fraction solide moyenne dans le lit d'une part et des caractéristiques dynamiques du mouvement de la phase solide d'autre part (analyse spectrale des fluctuations de la fraction solide, développement d'ondes planes de concentration en milieu dense, Fig. 2.4) (thèse Frédéric Gevrin 97-02, projet FERMaT/IMFT). A la suite de ce travail, une étude expérimentale du mouvement fluctuant de la phase solide (trajectographie 3D en milieu optique homogène) en fonction de la fraction solide moyenne et du nombre de Stokes du système est actuellement en cours. (thèse Alicia Aguilar-Corona en cours, CONACYT, collaboration UNAM, Mexico, projet FERMaT/LGC/IMFT).

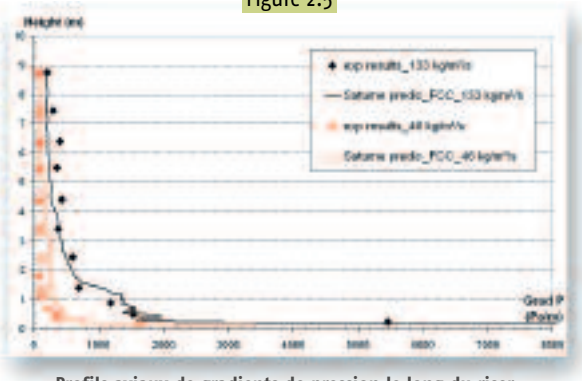
Figure 2.4

Développement d'onde plane de concentration dans un lit fluidisé solide-liquide

2.4 Ecoulements gaz-solide

Il s'agit ici de décrire à l'échelle locale le champ hydrodynamique diphasique dans le riser d'un lit fluidisé circulant de type FCC (Fluidized Catalytic Cracking). Les données expérimentales (profils de pression, profils de flux massiques solide locaux) obtenues sur une installation pilote ont été comparées aux résultats numériques obtenus à l'aide d'un modèle diphasique statistique (issu de la théorie cinétique des milieux granulaires). Les profils axiaux de gradients de pression pour différentes conditions opératoires sont bien reproduits par la simulation (Fig. 2.5). En revanche, le modèle échoue à correctement prédire la diminution des flux nets de solide en proche paroi (thèse Régis Andreux 98-02, contrat TOTAL/GDF/IFP, collaboration IMFT). Une méthode de traçage a permis de caractériser la dispersion axiale du solide dans le riser et de montrer l'augmentation du Péclet avec le débit de la phase solide (qui tend vers un écoulement piston, Fig.2.6). L'analyse des DTS sera complétée, à l'aide du modèle statistique, par l'étude du mélange solide à l'échelle locale (thèse Geoffrey Petit en cours, contrat CIFRE-IFP, projet FERMaT/LGC/IMFT). Une méthodologie similaire est actuellement développée pour modéliser et optimiser le transport de matériaux pulvérulents dans une aéro-canalisation (thèse en cours Cécile Plais, contrat CIFRE Alcan).

Figure 2.5



Profils axiaux de gradients de pression le long du riser

function of the solids-phase flowrate (which tends towards plug flow, Fig. 2.6). Analysis of RTD will be completed using the statistical model, by studying the mixing of solids on a local scale. (PhD thesis of Geoffrey Petit, sponsor CIFRE-IFP, FERMaT/LGC/IMFT project). A similar methodology is currently developed so as to model and optimise the pneumatic transport of powders in a channel (PhD thesis of Cécile Plais, sponsor CIFRE-ALCAN).

2.5 Wall friction in horizontal dispersed liquid-liquid turbulent pipe flow

A wall friction model has been developed for homogeneous dispersed turbulent flow in a horizontal duct. It is based on an algebraic closure of two-phase Reynolds equations, considering two distinct interaction terms: redistribution and interfacial-source terms. This model predicts a decrease in pressure drop with increasing concentration of the dispersed phase, as already reported in the literature for this flow configuration. An experimental liquid-liquid horizontal loop has been built (Fig. 2.7) for measuring the hydrodynamic field (near the wall) in both dispersed-homogeneous and dispersed-stratified regimes (high speed PIV, high speed video and static pressure drop) (PhD thesis of Christophe Conan, sponsor CIFRE IFP, FERMaT/LGC/LIPE/IMFT project).

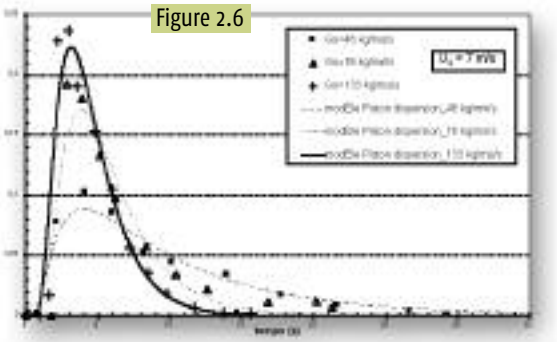
2.6 Drop fragmentation downstream of a concentric restriction

In an experimental study the drop-fragmentation process downstream of an orifice in vertical pipe flow was analysed using a high-speed camera and the flow hydrodynamics was characterised by high-speed PIV (Galinat et al., 2005). A phenomenological model, combining the experimentally determined turbulent Weber field seen by the drop along its trajectory (Fig. 2.8) and its deformation (represented as a Rayleigh-Lamb linear oscillator), was used to derive the local drop break-up probability downstream of the orifice. This model has been validated for single-phase flow with two different liquid-liquid systems of contrasted viscosity and for a concentrated dispersion (with matching refractive indices in the two phases) (PhD thesis of Sophie Galinat 02-05, sponsor CIFRE IFP, FERMaT/LGC/LIPE/IMFT project).

2.5 Frottement pariétal en écoulement dispersé liquide-liquide turbulent

Un modèle de frottement pariétal dans les écoulements turbulents diphasiques homogènes en conduite horizontale a été établi a partir d'une fermeture algébrique des équations de Reynolds diphasiques. Deux sources d'interactions ont été considérées : la redistribution et la production interfaciale. Ce modèle permet de décrire de façon satisfaisante les évolutions expérimentales de la perte de charge en fonction du rapport des phases rapportées dans la littérature pour cette configuration d'écoulement. Une installation expérimentale (écoulement dispersé liquide-liquide co-courant en conduite horizontale, Fig. 2.7) instrumentée a été réalisée dans le but de mesurer le champ hydrodynamique (en particulier proche paroi) en configuration dispersée homogène et stratifiée-dispersée (PIV rapide, caméra rapide, pression statique) (thèse Christophe Conan en cours, contrat CIFRE IFP, projet FERMaT/LGC/LIPE/IMFT).

Figure 2.6



Distributions des temps de séjour à différents flux de solide

2.6 Fragmentation de gouttes en aval d'une restriction

Une étude expérimentale (Galinat et coll., 2005) a été menée dans le but d'analyser les mécanismes de rupture des gouttes (observées par caméra rapide) dans un écoulement turbulent hétérogène induit par une restriction de conduite (caractérisé par PIV rapide). Un modèle phénoménologique associant le champ expérimental de Weber turbulent vu par la goutte le long de sa trajectoire (Fig. 2.8) à sa déformation (représentée par un oscillateur de type Rayleigh-Lamb) a permis de décrire la probabilité de rupture locale de la goutte en aval de la restriction. Ce modèle a été validé en écoulement monophasique pour deux systèmes liquide-liquide de viscosités contrastées et en écoulement diphasique concentré (ajustement des indices optiques) (thèse Sophie Galinat, contrat CIFRE IFP, projet FERMaT/LGC/LIPE/IMFT).

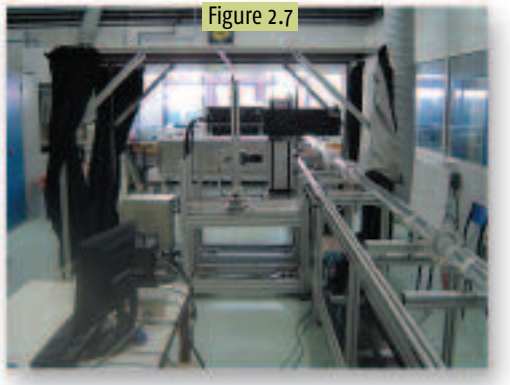
2.7 Perspectives

Les approches de type micro-physique des milieux dispersés seront poursuivies dans les prochaines années, avec l'objectif de coupler le champ hydrodynamique avec les phénomènes interfaciaux (collisions, agrégation, fragmentation, dépôt). L'échelle macroscopique (modèle statistique, bilan de population) reste encore pertinente dans la description des procédés en milieu dispersé (lit fluidisé, transport en conduite, membranes, etc.) et continuera d'être développée en y intégrant les modèles phénoménologiques (forces interfaciales en milieu dense, dispersion, fréquence de collision, taux de fragmentation, etc.) acquis par voie expérimentale et/ou numérique.

2.7 Perspectives

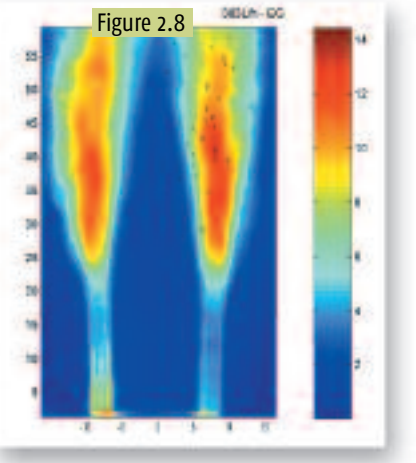
In the coming years, the microphysics of dispersed media will continue to be used as a line of research with the aim of coupling the flow field with interfacial phenomena (collisions, aggregation, fragmentation, deposition). The macroscopic scale (statistical models, population balance) is still relevant in the description of processes in dispersed media (fluidised beds, conduit transport, membranes, etc.) and will be further developed by incorporating phenomenological models (interfacial forces in dense media, dispersion, collision frequency, rate of fragmentation, etc.) that can be established by experimental and/or numerical means.

Figure 2.7



Ecoulement liquide-liquide en conduite horuzontale

Figure 2.8



Champ de Weber turbulent et lieux de rupture des gouttes (croix) en aval d'une restriction concentrique

DÉPARTEMENT GIMD

3 Transfert et phénomènes interfaciaux

3 Interfacial phenomena and transport

P. Aimar, P. Bacchin, B. Caussat, C. Causserand, M. Clifton, J.P. Couderc, S. Galier, M. Hémati, M. Meireles, H. Roux-de Balmann, J.L. Trompette

Les transferts réactifs ou non, intervenant soit aux interfaces soit dans une couche mince font l'objet d'études dédiées, expérimentales ou numériques, qui sont décrites ici. L'objectif est de développer des modèles phénoménologiques pour les transferts de matière et de chaleur dans des opérations d'élaboration / traitement de milieux divisés ou de séparation. Ils s'appuient sur une connaissance fine des mécanismes de transfert à l'échelle locale, et ne sont pas spécifiquement développés pour l'étude d'une application donnée. Ils ont vocation à générer un capital de connaissances méthodologiques et théoriques permettant en premier lieu, de mieux décrire le fonctionnement d'un procédé existant, mais également de proposer de nouvelles voies et outils pour l'ingénierie.

3.1 Transferts réactifs dans un réacteur LPCVD

Répondant au besoin de miniaturisation des composants et de gain en autonomie, les plots quantiques de silicium permettent de fabriquer de nouvelles générations de mémoires à pièges discrets. La LPCVD (Low Pressure CVD) est l'une des voies les plus prometteuses pour les produire industriellement. Les deux problématiques étudiées concernent le fait que les dépôts sont très minces (<5nm), ce qui engendre des temps opératoires très courts (<60s) et pose des problèmes au plan de la reproductibilité et de l'uniformité des couches, et d'autre part la nécessité d'atteindre des densités (nbre/cm2) élevées tout en contrôlant la distribution en taille des plots. Pour progresser sur ce dernier point, l'influence des conditions opératoires clés (température, pression, durée des dépôts, débit en entrée, ...), de la nature du substrat et du gaz précurseur a été quantifiée expérimentalement et par simulation CFD à l'échelle du réacteur et des nuclei (Fluent, Monte Carlo Cinétique CFD-Film). De nouvelles lois cinétiques hétérogènes, adaptées aux dépôts ultraminces, ont été développées, considérant la nature des liaisons de surface et les phénomènes de nucléation/croissance. (thèse BDI de Vanessa Cocheteau, co-financement CEA/Leti, partenariat LAAS, LTPCM/INPG,GDR CNRS TEMPPS).

Dans le cas du comblement de tranchées à très fort rapport de forme par des dépôts LPCVD à base de silicium, des modèles 2D à l'échelle d'un réacteur industriel et à celle de tranchées submicroniques ont également été développés sur la base du code de CFD Fluent, en couplant en conditions stationnaires et instationnaire les transferts simultanés d'espèces (convection et diffusion multi-composants), de chaleur

Non-reactive as well as reactive interfacial transport phenomena have been studied, either experimentally or numerically. The main objective is to produce phenomenological models for mass and heat transfer in solids generation operations as well as in solids separation. Such models rely on a generic description of local mechanisms involved at the interface. In that sense, they are not dedicated to a specific field of application.

3.1 Reactive transfer in a LPCVD reactor

In order to answer the needs for further miniaturisation and improved autonomy of electronic components, silicon quantum dots are used in particular to develop new non volatile memories. Low Pressure Chemical Vapour Deposition (LPCVD) is one of the most promising ways for reaching industrial-scale production. Yet two problems need to be solved. Firstly, dots are very thin (less than 5 nm): this means very short operating times (< 60 s) and failures in producing reproducible and homogeneous layers. Second, the dot density (in number/cm2) and size distribution must absolutely be controlled. To satisfy such constraints, the influence of the operating conditions (temperature, pressure, run duration, inlet flow rate, ...), the nature of substrate and of the precursor gas have been quantified experimentally and using CFD modelling studies both on the scale of the reactor and of the nuclei (FLUENT, Monte-Carlo Kinetics, CFD-Film). Original laws of heterogeneous kinetics developed for such ultra-thin layers have been proposed, taking into account surface chemistry and nucleation-growth phenomena (PhD of Vanessa Cocheteau, CEA/Leti, Collaboration LAAS, LTPCM/INPG, GDR CNRS TEMPPS).
In the specific case of very-high-aspect-ratio trench filling by silicon LPCVD deposits, 2D modelling has been developed both on the reactor scale and on the trench scale by coupling stationary and non-stationary simultaneous mass transfer (multicomponent convection and diffusion), heat transfer (radiation, convection and conduction) and momentum transport with homogenous and heterogeneous reaction kinetics. For modelling the trench, an optimised procedure for dynamical meshing has been developed (Fig. 3.1). A relevant interconnected simulation scheme between both scales is

(rayonnement, convection et conduction) et de quantité de mouvement, avec les cinétiques de réactions homogènes et hétérogènes. Pour le modèle de tranchée, une procédure optimisée de remaillage dynamique a en particulier été mise au point (Fig 3.1). Le développement d'une procédure d'interconnexion cohérente de ces deux niveaux de simulation, considérant en particulier l'évolution de la surface spécifique offerte au dépôt en fonction du temps, est en cours. Un autre modèle 2D transitoire à l'échelle des tranchées, plus précis, basé sur une approche déterministe, est en cours de test. Son utilisation sera réservée aux cas où une meilleure précision est requise, en particulier les tranchées de géométrie complexe présentant les phénomènes rémanents de " bowing " et d'" undercut " (thèse CIFRE Lionel Jaouen ST Microelectronics, partenariat LAAS).

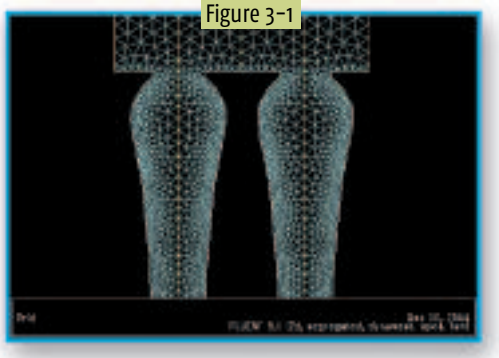
3.2 Transfert réactif en lit fluidisé

Le problème majeur des sites d'incinération de boues est l'émission de polluants tels que les NOx, métaux lourds,.. L'incinération de boues résiduaires urbaines humides en lit fluidisé chauffé par appoint de gaz naturel est une des voies de traitement. Une étude expérimentale des conditions de marche du réacteur sur le rendement et sur les émissions de micropolluants et de métaux lourds a été effectuée (thèse de A. Gratias, MESR, collaboration GDF, Région Midi Pyrénées) . Outre la détermination de la répartition des métaux lourds entre la fraction de cendres et la fraction volatile et le suivi des conditions de formation des NOx, la modélisation du réacteur a été entreprise sur la base d'un schéma cinétique simplifié couplé au transfert hydrodynamique et thermique. Ce modèle a permis de prédire de manière convenable l'avancement de la combustion le long du réacteur bien qu'il conduise à une surestimation des émissions de micro-polluants (Fig 3-2) . Les travaux en cours portent sur le couplage du modèle hydrodynamique avec un schéma cinétique plus détaillé.

3.3 Transfert dans les suspensions colloïdales concentrées

Lors de la concentration de colloïdes, il existe des conditions opératoires critiques en dessous desquelles il est possible de filtrer des dispersions colloïdales "matière molle ou nano-divisées" sans créer la formation d'un dépôt irréversible (une phase condensée) à la surface d'une membrane. Ces conditions, qui sont reliées à la fois aux propriétés d'interactions colloïdales de la matière et à la dynamique du procédé,

Figure 3-1



Vue du maillage déstructuré 2D bâti via le code de CFD Fluent pour un motif de deux tranchées de 2 µm de large et 50 µm de profondeur

Figure 3-2

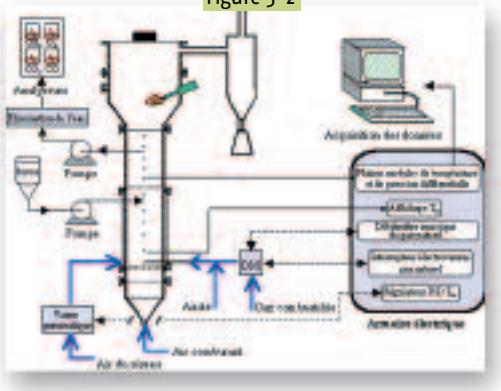


Schéma de l'installation expérimentale pour l'étude de l'incinération en lit fluidisé

now considered based on the variation of specific surface with time. A different approach is also tested based on a non-stationary model on the trench scale. This approach is more precise and reserved for applications for which higher resolution is required, e.g. for geometrically complex trenches, as well as to describe bowing and undercut phenomena (PhD of Lionel Jaouen, ST MICROELECTRONICS, Collaboration LAAS).

3.2 Reactive transfer in a fluidised bed

A the major limitation in sludge incineration lies in the emission of pollutants such as NOx, heavy metals, ... Incineration of damp urban residual sludges using a fluidised bed heated by a secondary natural-gas source is a possible way of reducing the production of pollutants. An experimental study has been carried out where the influence of operating conditions on reaction yield and emission of pollutants has been determined (PhD of A. Gratias, collaboration GDF). A model of the reactor has also been completed based on a simplified kinetic scheme coupled with momentum and heat transfer. This model correctly predicts the variation of combustion yield with reactor length but still overestimates the production of pollutants (Fig. 3.2). Ongoing work concerns the coupling of a momentum model with a more detailed kinetic scheme.

3.3 Transfer in concentrated colloidal suspensions

When colloidal suspensions are concentrated, there are critical conditions below which dispersions can be filtered without any irreversible cake layer (or condensed phase) appearing at the surface of the filtering membrane. These conditions which depend both on the interfacial properties of the suspension and on the filtration process dynamics, imply the existence of a procedure for sustainable operation, that allows a reduction in energy expenditure and in cleaning requirements. Recently we have focused on the development of bench-top measure-

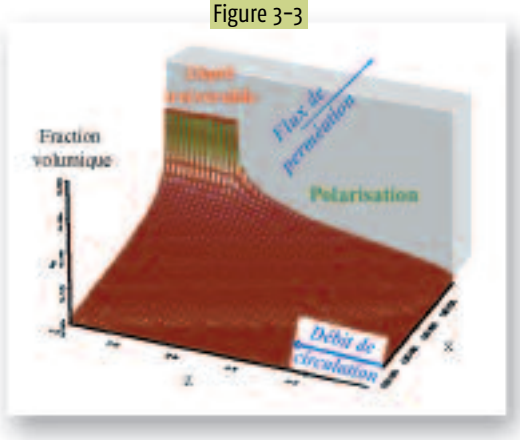
DÉPARTEMENT GIMD

permettent d'entrevoir des conditions de fonctionnement durable, en limitant les dépenses énergétiques ou les recours au nettoyage par exemple.
Au cours des années écoulées, un effort a été apporté au développement de bancs de mesures et des protocoles de filtration associés permettant de détecter ces conditions critiques pour la filtration tangentielle (Espinasse et coll., 2002) et en filtration frontale (Bessière et coll., 2005). Un lien formel a été établi entre des caractérisations expérimentales de la matière molle (pression osmotique obtenu par compression chimique) et les conditions critiques de fonctionnement du procédé via des simulations numériques de l'accumulation de matière concentrée à la surface des membranes (Bacchin et coll., 2002) (Fig 3-3) intégrant le transport induit par les interactions de surface. Cette approche a souligné recemment la nécessité de prendre en compte les hétérogénéités du procédé (Bacchin et coll., 2005) pour développer des modèles prédictifs.

3.4 Suspension de solides et transferts en milieux poreux

Une réflexion sur le niveau de description indispensable à la caractérisation d'un procédé de filtration est actuellement menée. Elle a conduit à proposer une approche macroscopique basée sur des modèles très classiques de filtration, qui permet de ne pas occulter la complexité des milieux particulaires denses que sont souvent les fluides filtrés industriellement, tout en fournissant rapidement des résultats nécessaires au dimensionnement ou à la compréhension. Une méthodologie permettant de qualifier différents mécanismes participant à la capture des particules, principalement en fonction de leur localisation vis à vis d'un media filtrant (thèse de A. Grenier, CIFRE Rhodia) a été développée . Elle a permis de définir un scénario de mécanismes successifs dominants dont les paramètres (taux de recouvrement, vitesse de capture en surface, ...), sont reliés par des expressions analytiques à des paramètres caractéristiques (diamètre moyen de pore, concentration de la suspension) et aux conditions opératoires. Cette démarche permet de décrire de manière générique les phénomènes de colmatage pour différents types de media et pour des suspensions relativement complexes . En terme d'application, elle permet proposer une stratégie pour le choix d'un media et de conditions de fonctionnement à partir d'un nombre d'essais qualifiants réduit et sans recourir à des essais pilotes. Une seconde approche a consisté à établir un modèle numérique qui décrit la capture d'un media filtrant à partir de règles de tamisage assez simples mais qui tiennent compte de l'existence de distributions de propriétés dans le media et dans la suspension ainsi que de la coexistence de plusieurs mécanismes de colmatage dans la structure du media et à sa surface (thèse de K.Benmachou, CIFRE Sofrance, collaboration FERMaT, Philippe Schmitz). Cette approche a notamment été utilisée pour prédire la

Figure 3-3



Simulation d'un profil de concentration au voisinage d'une membrane durant une filtration tangentielle

ments that could be used to define such sustainable operating conditions for cross-flow ultrafiltration (Espinasse et al., 2002) and dead-end filtration (Bessière et al., 2005). A formal link has been established between experimental characterisation of soft-matter dispersions (osmotic pressure measurements by the osmotic-compression procedure) and critical process conditions through the numerical simulation of mass transfer in the concentrated boundary layer which includes mass transfer induced by surface interactions (Bacchin et al., 2002) (Fig. 3.3). This approach revealed that transfer heterogeneities must also be taken into account in developing predictive modelling.

3.4 Solid suspensions and mass transfer in porous media

A reflection on the level of description that needs to be taken into account in the description of a filtration process has been recently undertaken. First, a methodology based on traditional phenomenological blocking models was designed (PhD of Alexia Grenier, collaboration with RHODIA). The main advantages of this methodology lay in two points: first it is applicable to complex suspensions such as those encountered in industry, second it allows rapid design of the filtration operation through the determination of key process parameters.
This methodology also gives information on capture mechanisms and fouling scenarios. Key parameters such as surface coverage, internal fouling rate and specific resistance are linked though analytical expressions to characteristics of the medium and the fluid (mean pore size, suspension concentration), as well as to operating conditions. A different approach has been developed based on a numerical simulation which describes the capture of particles by a filtration medium on the local scale combining information on both pore-size distribution and particle-size distribution (PhD of K. Benmachou, collaboration with SOFRANCE and FERMaT). This approach also relies on the description of the co-existence of several blocking mechanisms. It has been used for the simulation of particle loading in the case of hydraulic filters. Coupled with a 1D description of the flow in the pleated geometry (Fig. 3.4), this model allows the cake layer height in the pleat to be estimated as a function of pleat geometry and filtration rate.

durée de vie de filtres à particules équipant des circuits hydrauliques. Les media utilisés pour ces applications ont des structures géométriques assez complexes qui ont été caractérisées par micro-imagerie (MEBE, Tomo X). Compte tenu de la géométrie des filtres (cartouches plissées,) un couplage avec un modèle d'écoulement 1D a été proposé pour rendre compte des effets d'inertie dans les plis sur le colmatage. Pour un système donné (media, suspension), il permet de simuler le colmatage progressif d'un media filtrant et de prédire par exemple l'épaisseur d'un dépôt en fonction de la géométrie du pli (Fig 3-4)

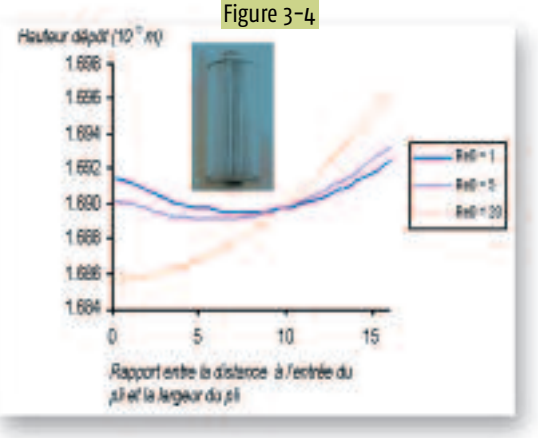
3.5 Transfert et sélectivité gouvernés par des mécanismes liés à la charge

Des études sont réalisées afin de comprendre les mécanismes de transfert d'espèces chargées ou non à travers des interfaces membranaires. Ces mécanismes sont communs à différents types d'opération de séparation, mettant en jeu diverses forces agissantes, comme la nanofiltration, l'électrodialyse ou plus largement les contacteurs électrophorétiques à membrane. Ils interviennent de façon modulée selon la nature des interfaces (poreuses ou denses, chargées ou non) et des espèces considérées (protéines, peptides, acides organiques, sucres, sels minéraux,..).

Dans le but de développer de nouveaux modes de mise en œuvre permettant d'élargir le domaine d'application des procédés électromembranaires, des travaux ont été entrepris afin d'étudier le transfert sélectif à travers des membranes poreuses sous l'effet du champ électrique (Galier et Roux-de Balmann, 2001). Nous avons montré que dans de tels systèmes, le transfert de matière est principalement gouverné par les interactions électrostatiques à l'interface entre la solution et la membrane. Pour des solutions contenant plusieurs espèces, ces interactions sont en outre fixées par le soluté le plus chargé (Galier et Roux-de Balmann,2002). Dans le cas de petites espèces fortement chargées (acides aminés par exemple), l'ampleur de ces interactions, de type répulsif, est telle que le transfert à travers des membranes, y compris de taille de pores 100 fois supérieure à celle des solutés, est nul. A contrario, la migration à travers la membrane de solutés de taille plus importante et moins chargés (tels que des protéines par exemple) est possible. Les résultats obtenus avec des solutions modèles d'α-lactalbumine et de β-lactoglobuline, seules ou en mélange, montrent également l'influence des interactions électrostatiques (variation du pH) et des effets stériques (pour différents seuils de coupure) sur le transfert de matière. Dans certaines conditions, une séparation peut être obtenue mais les flux restent faibles, (Galier et Roux-de Balmann, 2004)

L'influence de la composition ionique des fluides sur le transfert de molécules organiques (acides organiques et sucres) est également un sujet d'étude.

Figure 3-4



Simulation de la hauteur du dépôt formé dans les plis d'un filtre en fonction de la géométrie des plis et du débit de filtration

3.5 Charge-dependent selectivity and transfer mechanisms

Research has been undertaken to study mechanisms for the transfer of soluble species through membrane interfaces. These mechanisms are commonly encountered in processes such as nanofiltration or electrodialysis. They may vary depending on the nature of the membranes (porous or dense, charged or neutral) and of the nature of the species (proteins, peptides, organic acids, sugars and mineral salts).

In order to extend the capabilities of electroseparation processes, studies have been carried out to investigate selective transport through porous membranes by migration in an electrical field (Galier et Roux-de Balmann, 2001). In such case, we show that mass transfer is dominated by electrostatic interactions at the interface between the membrane and the solution. For solutions containing different species, these interactions are dominated by the component with the highest charge (Galier et Roux-de Balmann, 2002). For small charged species, such as amino acids, these interactions are so strong that for a membrane with pores 100 times larger than the solute radius, mass transfer is null. On the other hand, migration of solutes of larger size and lower charge is possible. Results obtained with solutions of a-lactalbumin and b-lactoglobulin, separately or mixed together, also show effects of electrostatic and steric interactions on mass transfer. Under certain conditions, separation is achieved but fluxes are low (Galier et Roux-de Balmann, 2004).

The impact of the ion content of solutions on mass transfer for organic solutes (organic acids and sugar) has also been investigated. It was found that retention of sugars by nanofiltration significantly varies in the presence of charged species (organic acid salts and mineral salts), (PhD of Antoine Bouchoux, collaboration EURODIA). (Fig.3.5). The decrease in glucose retention has been quantified in relation with a solvation gradation (Bouchoux et al., 2005). In the same way, the influence of ionic composition on the diffusive transfer of acetic acid though ion-exchange membranes has also been investigated. The increase in mass transfer when mineral salts are present has been correlated with the degree of ion hydration (PhD Elodie Singlande).

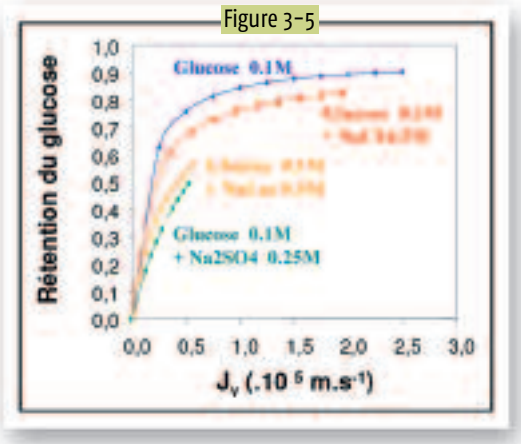
DÉPARTEMENT GIMD

Des travaux ont ainsi montré que la rétention de sucres en nanofiltration varie de façon significative en fonction de la présence d'espèces chargées (sels d'acides organiques et sels minéraux) (thèse d'Antoine Bouchoux, BDI cofinancée EURODIA Industrie) (Fig. 3-5). L'amplitude de la diminution de la rétention du glucose a pu être reliée qualitativement à une échelle de solvatation (Bouchoux et coll., 2005).
Suivant la même approche, l'influence de la composition ionique sur le transfert diffusif de l'acide acétique (ou de son sel de sodium) à travers des membranes échangeuses d'ions a été étudié. L'augmentation du coefficient de transfert de l'espèce en présence de sels minéraux a également pu être corrélée à l'échelle d'hydratation des espèces (thèse d'Elodie Singlande, MESR). Ces résultats montrent le caractère transversal de ces effets, communs à des systèmes mettant en œuvre des espèces, des membranes et des forces agissantes de nature différente.

3.6 Transfert et rétention de contaminants biologiques et chimiques

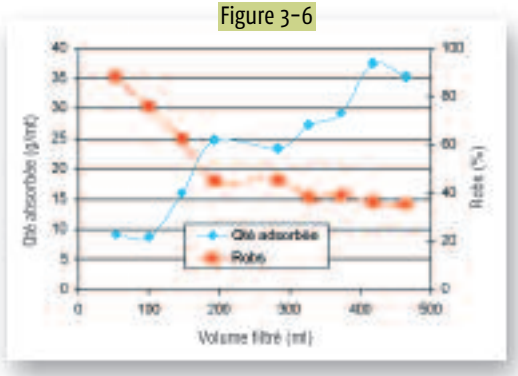
Un autre aspect concerne l'étude de la rétention de bactéries et de contaminants par des membranes. Des travaux récents nous laissent penser que, lors de l'utilisation de procédés membranaires sur un site de production d'eau potable, les propriétés fonctionnelles des membranes (de géométrie fibre creuse) demeurent à peu près constantes jusqu'à la rupture. Cependant on ignore comment évoluent les capacités d'abattement en microorganismes du module entre le moment où il est mis en service pour la première fois et le moment où la fatigue des matériaux conduit à une rupture de fibre identifiée. L'étude de l'évolution des capacités de rétention des microorganismes par la membrane a débuté par une première phase qui vise à acquérir une meilleure compréhension des mécanismes de transfert des bactéries et des virus à travers la structure poreuse, en particulier dans les conditions où des fuites en microorganismes sont observées. Ceci est le cas lors de la filtration de Escherichia Coli qui parvient à pénétrer la structure poreuse pour se retrouver dans le perméat malgré des dimensions supérieures au diamètre moyen des pores de la membrane utilisée. Les considérations physico-chimiques n'ont pas permis de dégager des hypothèses en termes de possibles interactions électrostatiques ou hydrophile-hydrophobe qui expliqueraient ce comportement particulier de Escherichia Coli. Deux voies sont donc explorées à l'heure actuelle (Thèse de Nathalie Delebecque, Allocation Ministérielle, en cours):

Figure 3-5



Nanofiltration - variation de la rétention du glucose en fonction de la composition ionique du milieu (sels organiques et minéraux)

Figure 3-6



Filtration du Bisphénol A (1 ppb) sur une membrane de nanofiltration (ΔP=20 bar) : Evolution de la quantité adsorbée sur la membrane et du taux de rétention en fonction du volume filtré

3.6 Retention and transfer mechanisms for biological and chemical components

We recently launched investigations to assess retention of micro-organisms by commercial membranes. The aim is to develop a method that could be used to monitor the properties of a membrane over its operating life. In a first step we are investigating any mechanism by which micro-organisms, bacteria or viruses, may pass through the porous structure of a membrane, even in the case when the apparent pore size is smaller than the dimensions of the micro-organism, as observed during the filtration of Escherichia Coli.
Hypotheses based on electrostatic or hydrophilic/hydrophobic effects have been eliminated. We are currently investigating (PhD of Natalie Delebecque) other types of effects such as the deformation of bacteria under stress conditions and the presence of defects in the porous structure not detected by currently available characterisation methods. Based on reproducible data showing that bacteria may pass through a tight membrane, we also question the choice of Brevundimonas diminuta (CIP 103020) as a standard for retention tests.
Water contamination may also result from the presence of very dilute chemical pollutants that present a high resistance to external constraints or evolve in terms of chemical activity. The molar mass of such contaminants lies between 200 and 1000 g/mol. Such contaminants could be removed by nanofiltration. The feasibility of this process has been assessed for pesticides (dichloroaniline) and endocrine disrupters (bisphenol A) (post-doc Y. Zhang, collaboration INRA). Results show a good feasibility of the separation with the retention strongly varying from one commercial membrane provider to another, even though all samples were claimed equivalent in terms of retention ability. Adsorption within the porous structure turns out to play an important role in

- déformabilité de la bactérie sous l'effet d'un cisaillement
- présence de défauts dans la structure de la membrane que la précision des méthodes de caractérisation utilisées (flux à l'eau, rétention de traceurs) ne permettrait pas de mettre en évidence.

La répétabilité des résultats obtenus ayant été vérifiée, ceux-ci posent le problème du choix d'une membrane sur la base de son seuil de coupure ou du rayon moyen de ses pores par rapport aux dimensions de la bactérie à retenir. De plus ce comportement remet en question l'utilisation de Brevundimonas diminuta (CIP 103020) comme bactérie modèle pour les tests de rétention.
La contamination de l'eau peut également provenir de la présence de polluants chimiques particulièrement difficiles à identifier en raison de leur très forte dilution, leur résistance exceptionnelle aux contraintes extérieures, ou encore leur capacité à évoluer dans leur forme chimique. La masse molaire des contaminants considérés ici est comprise entre 200 et 1000 g/mol. Le procédé de filtration mis en œuvre est alors la nanofiltration dont les performances ont été évaluées dans le cas de l'élimination d'herbicides (Dichloroaniline, stage DEA Elodie Singlande) ou de perturbateurs endocriniens (Bisphénol A, stage Post-Doctoral Yang Zhang, P2R Franco-chinois, collaboration Unité Xénobiotiques INRA Toulouse). Les résultats obtenus (Causserand et coll., 2005) montrent les potentialités de ce procédé pour la rétention de ce type de polluants avec, cependant, une efficacité très dépendante de la membrane choisie malgré des spécifications commerciales équivalentes. Par ailleurs, l'adsorption des polluants sur la membrane et dans la structure poreuse s'avère jouer un rôle important dans la phase de mise en route du procédé, de telle sorte que l'évaluation de la capacité d'une membrane de nanofiltration à retenir un contaminant chimique devra toujours se faire une fois l'état d'équilibre atteint en terme d'adsorption.

Une seconde action dans cette voie porte sur l'élaboration d'un procédé de dégradation de polluants chimiques par un biofilm développé sur une membrane de microfiltration (Thèse Sébastien Marc, collaboration Laboratoire Polymères, Biopolymères et Membranes, Rouen).

3.7 Perspectives

Les travaux sur la LPCVD seront poursuivis avec l'étude des phénomènes en jeu à l'interface substrat/dépôt, que les substrats soient pulvérulents ou massifs, et que les dépôts s'organisent sous forme de couches minces ou de nanostructures diverses (nanotubes, nanofils). L'une des ambitions est de mettre l'accent sur l'aspect simulation locale des procédés, en considérant aussi précisément que possible l'échelle des nuclei issus des dépôts.
Dans le domaine des séparations solide-liquide, les travaux vont consister à élargir les champs d'applications en intégrant de nouveaux aspects tels que la réversibilité des mécanismes de capture en surface ou des modes de capture mettant en œuvre des interactions physico-chimiques matériau -particule.
Des corrélations qualitatives ont été mises en évidence entre les mécanismes de transfert à travers des mem-

the beginning of filtration and as a result in the final separation.
We also contribute to the development of a new degradation process for very dilute pollutants which is based on a biofilm immobilised on a membrane (PhD of S. Marc, collaboration with LPBM Rouen).

3.7 Perspectives

Research on LPCVD (Low Pressure Chemical Vapour Deposition) will continue with the study of phenomena involved at the substrate/deposit interface, whether the substrates are massive or powdery and whether the deposits are organised as thin layers or as other nanostructures (nanotubles, nanothreads). One of our ambitions is to focus on the local-scale simulation of processes, taking into account as precisely as possible the scale of the nuclei formed in the deposits.
In the field of solid/liquid separations, research will consist in broadening the range of applications by integrating new aspects such as the reversibility of capture mechanisms at the surface or modes of capture involving physicochemical material/particle interactions.
Qualitative correlations have been revealed between mechanisms of transfer through membranes and the hydration of species in solutions containing organic and inorganic salts. Future work will be devoted to establishing this dependence quantitatively by gathering data that will make it possible to determine the state of hydration of species as a function of the composition of the solution. Other work is concerned with membrane transfer mechanisms of contaminants and micro-organisms; after a first phase of gathering data, a standard methodology will be developed for determining the abatement capability of a membrane towards bio-contaminants that will allow qualification of a membrane at all points in its life-cycle.

DÉPARTEMENT GIMD

branes et la solvatation des espèces dans des solutions contenant des sels organiques et minéraux. Il s'agira d'évaluer du point de vue quantitatif cette dépendance grâce à l'acquisition de données permettant d'estimer l'état de solvatation des espèces en fonction de la composition du milieu. Par ailleurs, après une première phase d'acquisition de connaissance sur les mécanismes de transfert de contaminants et de micro-organismes, nous entrevoyons la définition d'une méthodologie type pour la détermination de la capacité d'abattement des bio-contaminants par une membrane permettant une qualification non plus seulement en début de cycle d'utilisation.

4 Procédés d'élaboration de matériaux, procédés de séparation

P. Aimar, P. Aptel, P. Bacchin, B. Biscans, B. Caussat, C. Causserand , J.P. Couderc, C. Frances, S. Galier, M. Hémati, J.C. Remigy, H. Roux-de Balmann, D. Steinmetz

Il s'agit ici de travaux dont l'objet d'étude, et par conséquent le niveau d'approche, est l'opération elle-même. Ces travaux sont complémentaires des études, présentées précédemment, réalisées à une échelle plus locale. Ils sont par essence très tournés vers le secteur aval et donc souvent réalisés dans le cadre de partenariats industriels. Ils permettent, en s'appuyant sur des modèles phénoménologiques, de proposer des améliorations tant qualitatives que quantitatives ou de nouveaux modes de mise en œuvre capables de satisfaire des contraintes liées à la qualité des produits ou à l'impact environnemental par exemple. Ils ouvrent également des perspectives en terme d'intégration des procédés dans de nouveaux domaines d'application.
Deux types de procédés sont étudiés en tant que tels: des procédés d'élaboration de matériaux et des procédés de séparation mettant en œuvre des membranes.

4.1 Procédés d'élaboration de matériaux en lit fluidisé

Il s'agit d'étudier des réacteurs en lit fluidisé afin d'élaborer des matériaux composites, catalytiques ou non, par différents procédés permettant d'effectuer un dépôt (CVD, imprégnation, séchage, enrobage..).
Etant donné l'intérêt industriel pour les matériaux très finement divisés (nanomatériaux) et leur post traitement, notamment par CVD, des travaux ont été réalisés sur la synthèse de poudres microniques luminophores par pyrolyse d'aérosol en partenariat avec le CEMES (post doc de N. Reuge), puis sur la fluidisation de ces poudres microniques. Afin de vaincre les forces interparticules empêchant la fluidisation, diverses voies d'activation ont été testées (thèses de Shila Alavi et de Loïc Cadoret, projet Région Lacroix Ruggiéri,

4 Processes for fabrication of materials, separation processes

P. Aimar, P. Aptel, P. Bacchin, B. Biscans, B. Caussat, C. Causserand , J.P. Couderc, C. Frances, S. Galier, M. Hémati, J.C. Remigy, H. Roux-de Balmann, D. Steinmetz

The results presented here concern the fabrication process itself and are complementary to those presented in earlier sections. Since our research is turned towards applications, it is generally carried out in partnership with end users. Using phenomenological laws, it is possible to improve process performance, both from the qualitative and from the quantitative point of view, or to propose new modes of operation to answer specific requirements, for instance in terms of product quality or environmental impact. Also, some perspectives can be indicated for integrating such processes into new fields of application.
Two kinds of processes are investigated: processes for the fabrication of materials and separation processes involving membranes.

4.1 Fluidised bed processes for fabrication of materials

Fluidised bed reactors for different coating processes (CVD, Drying, Coating, ...) are studied for the fabrication of composite materials, that may possibly have catalytic properties.
There is industrial interest in technologies for the production and post-treatment of nanomaterials. In the particular case of CVD, we have studied the synthesis of micronic phosphor particles by spray pyrolysis, in collaboration with CEMES (post-doc of N. Reuge). We then studied the fluidisation of these micronic powders to crystallise them at high temperature. In order to overcome the inter-particle forces limiting the fluidisation, various activation processes have been tested (PhD theses of Shila Alavi and Loïc Cadoret, Regional project with LACROIX RUGGIÉRI, "Materials and Processes" program of the French Ministry of Research with CEMES). The hydrodynamic behaviour at ambient temperature of micronic Y2O3 and Zn2SiO4:Mn beds was satisfactory for fluidisation activated by vibration and by addition of coarse particles. A vibrated fluidisation reactor operating up to 1300 °C was built allowing the sintering phenomena of phosphor particles to be drastically reduced in comparison with conventional heat-treatment processes (crucible or moving-belt furnaces). A 'Soleau' envelope and a French patent have recently been deposited to protect this know-how. This process has also allowed pure

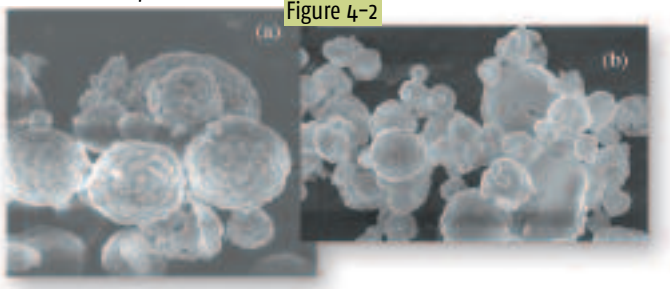
programme Matériaux et Procédés du MESR avec le CEMES). Le comportement hydrodynamique à température ambiante de lits de poudres luminophores microniques de Y_2O_3 et de Zn_2SiO_4 :Mn a été très satisfaisant en lit fluidisé vibré et en présence de grosses. Un réacteur à lit fluidisé vibré pouvant opérer jusqu'à 1300°C a été construit, qui a permis de diminuer drastiquement le frittage des poudres luminophores, par rapport aux procédés conventionnels de traitement thermique (creuset ou four à passage). Une enveloppe Soleau a été déposée récemment, et une étude de brevetabilité est cours, pour protéger ce savoir-faire. Ce procédé a aussi permis la mise en fluidisation de nanotubes de carbone purs, ce qui ouvre d'importantes perspectives pour fonctionnaliser, doper, revêtir par des matériaux divers, ces nano-objets; un brevet est en cours de dépôt et des discussions sont engagées avec diverses sociétés. De nouveaux travaux ont démarré, pour d'une part effectuer des dépôts CVD divers sur des poudres de ZnO de 500 nm de diamètre (projet Région avec Marion Technologies), et d'autre part réduire puis traiter thermiquement à 1000°C des poudres métallurgiques (société Eurotungstène).

Figure 4-1

Vue du réacteur de fluidisation activée par vibrations pouvant opérer jusqu'à 1300°C

En étroit partenariat avec le CIRIMAT, une étude est également en cours afin de concevoir et mettre au point un dispositif de sublimation en lit fluidisé de précurseurs solides. En effet, dans la plupart des procédés de CVD (MOCVD), le précurseur moléculaire est gazeux, (p.ex. SiH_4) ou liquide (p.ex. $GaMe_3$) à température ambiante. Une extension des procédés CVD à d'autres secteurs d'application implique aujourd'hui la mise au point de nouveaux précurseurs, plus complexes, le plus souvent solides dans les conditions ambiantes. Or, aucun système de sublimation fiable n'est actuellement disponible sur le marché. L'objectif est d'optimiser les conditions de fonctionnement du procédé pour parvenir à une sublimation reproductible et stable dans le temps, de précurseurs organométalliques. Ces vapeurs permettront d'alimenter en réactifs un réacteur de CVD. Des résultats prometteurs ont été obtenus au CIRIMAT en utilisant des poudres d'aluminium acétylacétonate, puis de chlorure d'aluminium, dont les vapeurs permettent de former par CVD des couches d'Al_2O_3 en partenariat avec l'Université du Minnesota (stage DEA de C. Sarantoupoulos). Un brevet protégeant cette invention a été déposé en novembre 2004. Les travaux se poursuivent via la mise au point d'une nouvelle génération de réacteur, à la conception affinée, permettant de mieux répondre au cahier des charges (stage DEA de L. Alaoui). Des contacts avec l'ANVAR et des partenaires industriels potentiels sont en cours.

Figure 4-2



Poudres de Zn_2SiO_4 : Mn traitées (a) en lit fluidisé vibré et (b) en lit statique

Une autre voie d'élaboration de matériaux composites est également étudiée. Il s'agit du dépôt de nanoparticules de métaux et d'oxydes métalliques sur support poreux. La synthèse est alors effectuée dans des

carbon nanotubes to be fluidised: this opens up interesting perspectives for grafting, doping or coating various materials with these nano objects. A patent has been applied for and discussions are under way with various industrial firms. New research has begun on using various materials to coat ZnO and TiO_2 powders 500 nm in diameter (Regional project with MARION TECHNOLOGIES) and to reduce metallurgical powders and heat treat them at 1000 °C (project with EUROTUNGSTEN).

In collaboration with CIRIMAT, a study is in progress to develop a sublimation fluidised-bed contactor for solid CVD precursors. For most of CVD processes (especially MetalOrganic CVD), the molecular precursor is gaseous (SiH_4) or liquid ($GaMe_3$) at ambient temperature. An extension of CVD processes towards other domains of application requires the use of new precursors, more complex ones, most often solid under ambient conditions. But no reliable sublimation system is now available. The objective is to optimise the operating conditions of our process to create a reproducible and constant flow rate of organo-metallic precursors. These vapours will be injected as reactive gases into a traditional CVD reactor. Some promising results have been obtained at CIRIMAT, in collaboration with the University of Minnesota (DEA study of C. Sarantoupoulos): aluminium acetylacetonate powder, then aluminium chloride powder, were used whose vapours form dense Al_2O_3 layers by CVD. A patent was applied for in November 2004 to protect this invention. Research now concerns the development of a new generation of fluidised-bed contactors, in order to achieve optimised behaviour (Master's study of L. Alaoui). Some contacts with ANVAR and potential industrial partners are in progress.

Another technique for fabricating composite materials is also under study: the deposition of nano-particles of metals and metal oxides onto porous supports. The synthesis is performed under very mild conditions, starting from organo-metallic precursors using a physical technique of impregnation-drying in a fluidised bed. Research has shown that the support and a suitable solvent could be chosen on the basis of knowledge of the physical, physico-chemical and thermodynamic phenomena involved in the steps of impregnation and drying (PhD of Serge Desportes, French Ministry of Research). Furthermore it was found to be possible, depending on the process parameters, to form a deposit either within the support (when the ratio of the characteristic drying time to the capillary penetration time is

conditions très douces, à partir de précurseurs organométalliques, par voie physique d'imprégnation-séchage en lit fluidisé. Les travaux ont démontré que le choix d'un support et d'un solvant adéquat pouvait être réalisé moyennant la connaissance des phénomènes physiques, physico-chimiques et thermodynamiques mis en jeu dans les étapes d'imprégnation et de séchage (thèse de Serge Desportes, Allocation Ministérielle). Par ailleurs, il s'est avéré possible, selon les paramètres du procédé, de réaliser un dépôt à l'intérieur du support (lorsque le rapport temps caractéristique de séchage sur temps de pénétration capillaire est supérieur à 10) ou à sa surface externe. Ce nouveau procédé a permis de fabriquer des catalyseurs usuels ayant des performances catalytiques élevées et reproductibles. Ces conditions opératoires ont été transposées à la synthèse de nanoparticules supportées à partir de complexes organométalliques dans une installation inédite. Les résultats acquis s'avèrent prometteurs, la technique du lit fluidisé permettant de déposer de façon bien dispersée un complexe métallique et de le traiter dans des conditions douces de température et de pression pour en faire un matériau composite de façon reproductible. De plus, les résultats mettent en évidence que la taille des cristallites formées est fixée par la taille moyenne des pores et que l'étape de post-traitement " séchage/relaxation " est la clé pour contrôler la forme et la dispersion du métal au sein du support. Enfin, ces matériaux ont montré des résultats prometteurs en catalyse, réactions d'hydrogénation (hydrogénation sélective de l'éthyle pyruvate) et synthèse de nanotubes de carbone mono paroi (collaboration entre le LGC/LCC et le LCCFP).
Depuis octobre 2004 (Thèse de L. Barthe, BDI CNRS, en cours), l'application de ce procédé à l'élaboration de nouveaux catalyseurs est étudiée : fabrication de catalyseurs bimétalliques par co-imprégnation de précurseurs organométalliques, tels que platine/ruthénium, ou de catalyseurs pour des réactions de synthèse asymétrique par utilisation de ligands par exemple.
Des travaux sont également en cours pour développer un procédé intégré, combinant différentes étapes nécessaires à l'élaboration de particules microniques.

4.2 Procédés d'élaboration de membranes

Les travaux portant sur ces procédés concernent essentiellement un mode particulier d'élaboration et donc une géométrie particulière de membranes (fibres creuses). Ces fibres sont élaborées par un procédé de filage en continu, dont l'originalité réside dans la possibilité d'effectuer simultanément au filage une modification des propriétés de surface du matériau membranaire, par photogreffage par exemple.
Au niveau du procédé d'élaboration lui-même, l'étude expérimentale a montré que l'efficacité du photogreffage est fonction de l'énergie UV reçue par la membrane, mais également de la vitesse de défilement de la fibre. De manière surprenante, pour une énergie donnée, l'efficacité du greffage augmente lorsque la vitesse de défilement augmente (Bequet et coll., 2002). Par ailleurs, la réalisation de fibres creuses de nanofiltration ne semble possible que pour des membranes de seuil de coupure initial de l'ordre de 10 –20kDa (thèse de Stéphane Bequet, Allocation Ministérielle). Des membranes modifiées par greffage de dif-

greater than 10) or on its outer surface. This new process allowed standard catalysts to be fabricated having high and reproducible catalytic performance. These operating conditions were transposed to the synthesis of supported nanoparticles from organometallic complexes in an original installation. Promising results were obtained: the fluidised-bed technique allows a metal complex to be deposited in a well dispersed way and to treat it under mild conditions of temperature and pressure so as to make it into a composite material in a reproducible way. Moreover, it is found that the size of the crystallites formed is fixed by the mean pore size and that the 'drying-relaxation' post-treatment step is the key to controlling the form and the dispersion of the metal within the support. Finally, these materials have shown promising results in catalysis, hydrogenation reactions (selective hydrogenation of ethyl pyruvate) and synthesis of single-walled carbon nanotubes (collaboration between LGC, LCC and LCCFP).
Since October 2004 (PhD of L. Barthe, BDI CNRS), the application of this process to the manufacture of new catalysts has been under study: for example, fabrication of bimetallic catalysts by co-impregnation of organo-metallic precursors, such as platinum/ruthenium, or of catalysts for asymmetric synthesis by use of ligands.
Other research is going on to develop an integrated process, combining the different steps necessary for manufacturing micronic particles.

4.2 Processes for membrane fabrication

These studies concern mainly one particular membrane geometry (hollow fibres) and so one particular mode of fabrication (extrusion spinning). The spinning process is a continuous one, whose originality lies in the possibility of simultaneously modifying the membrane surface, for instance by photo-grafting.
Concerning the process itself, it has been demonstrated experimentally that the photo-grafting efficiency depends not only on the UV energy received by the membrane but also on the line speed of the fibre. Surprisingly, it was found that for a given UV energy, the grafting efficiency increases with the line speed (Bequet et al., 2002). On the other hand, it was found that nanofiltration (NF) membranes could not be produced by photo-grafting UF membranes whose original molecular weight cut-off was higher than about 10-20 kDa (PhD of Stéphane Bequet). Membranes modified by grafting with different monomers were tested for different applications: retention of dyes (PhD of Ahmad Akbari, Akbari et al., 2002) or water softening (PhD of Laura Quezada).
In order to understand the tendencies observed during the experimental study, a numerical simulation of the process has been developed (PhD of Tchicaya Goma-Bilongo). The treatment can be divided into three stages: first the fibre passes through a monomer solution and the monomer diffuses into the membrane pores, then on leaving the tank a liquid film is entrained by the fibre while the monomer continues to diffuse and

férents monomères ont été testées pour diverses applications : rétention de colorants (thèse de Ahmad Akbari, SFERE) (Akbari et coll., 2002) , adoucissement de l'eau (thèse de Laura Quezada, en cours).
Afin de comprendre les résultats mis en évidence par l'approche expérimentale, une modélisation – simulation du procédé a été mise en œuvre (thèse de Tchikaya Goma-Bilongo, en cours). Le procédé constitué d'un trempage dans une solution de monomère suivie du photogreffage est alors découpé en trois étapes: une étape de trempage, pendant laquelle la diffusion du monomère dans les pores de la membrane intervient, la deuxième située entre la sortie du bac et l'entrée dans le réacteur durant laquelle un film de liquide est déposé pendant que le monomère continue à diffuser dans les pores enfin l'étape de photogreffage proprement dite pendant laquelle du transfert de matière, de chaleur et une réaction interviennent. Les profils de concentration en monomère et polymère avant et après réaction ont été calculés en fonction de différents paramètres du procédé ainsi que l'échauffement de la fibre et l'évaporation de la solution de monomère. Les résultats obtenus ont permis de comprendre les résultats surprenants obtenus par S. Bequet. En effet, une vitesse élevée permet dans certains cas d'augmenter la concentration en monomère dans la zone réactionnelle conduisant à un meilleur greffage pour une énergie UV reçue donnée.

Figure 4-3

Pilote de modification de fibres creuses par photogreffage en continu (capteur de température)

4.3 Procédés de séparation membranaire

Dans ce domaine, un des objectifs consiste à rechercher de nouveaux modes de mise en œuvre ou à définir des choix de conditions de fonctionnement dans le but d'améliorer les performances quantitatives ou qualitatives des procédés de séparation mettant en œuvre des membranes. Des procédés membranaires peuvent alors être considéré seuls ou en couplage avec d'autres opérations, de séparation ou de transformation.
L'étude de la dégradation des membranes en cours d'usage, ou de leur vieillissement, est une des voies d'investigation. Le cas des usines de production d'eau potable a été retenu comme cas d'étude (thèse de Sandrine Rouaix, BDI AQUASOURCE). Dans ces usines en effet, des formulations chimiques contenant de l'hypochlorite de sodium sont utilisées pour assurer la désinfection des installations et le nettoyage des éléments colmatants. Nos travaux ont montré que lors de l'immersion d'une membrane en polysulfone dans un bain contenant de l'hypochlorite, celle-ci subit dans de nombreux cas des modifications aux échelles macromoléculaires, microscopiques et macroscopiques suite à la rupture de quelques dixièmes de pourcent à quelques pourcents des chaînes de polysulfone (Rouaix et coll., 2005). Les propriétés fonctionnelles (perméabilité et sélectivité) gérant les performances du procédé demeurent cependant proches de leurs valeurs nominales jusqu'à la rupture de la fibre. C'est un signe positif pour l'exploitant, mais c'est aussi une difficulté supplémentaire pour le chercheur qui doit développer des méthodes de caractérisation de l'état de la membrane.

finally in the UV reactor there is the actual photo-grafting step, during which mass transfer, heat transfer and chemical reaction take place simultaneously. The calculation gives the monomer and polymer concentration profiles throughout the treatment as well as the fibre temperature and the rate of monomer evaporation for different values of the processing parameters. This calculation helps to explain the surprising aspects of the experimental observations. For example, in some cases, a high line speed allows the monomer concentration in the reaction zone to be raised and a better grafting to be obtained for a given UV energy.

4.3 Membrane separation processes

In this field, one objective is to look for new modes of operation or to propose an appropriate choice of operating conditions so as to improve the performance of membrane separation processes.
One line of investigation is the study of membrane degradation (or ageing) during use. The first case study concerned drinking water production plants (PhD of Sandrine Rouaix). In these plants chemical formulations containing sodium hypochlorite are used to disinfect the installation as well as to clean fouled components. It was found that a polysulfone membrane soaked in a bath containing hypochlorite frequently shows modifications on the molecular, microscopic and macroscopic scales; these result from disruption of a very small fraction of the polysulfone chains (less than a few percent) (Rouaix et al., 2005). However, the functional properties of the membrane, i.e. its permeability and selectivity, stay close to their nominal values before complete disruption of the fibre. Such a behaviour makes it quite difficult to detect ageing using parameters that can be measured on line during use. The degradation mechanism seems to involve oxidation by hydroxyl radicals coming from the two forms of hypochlorite present in the solution. These results open up an interesting field of investigation to determine to what extent compounds like the cationic catalysts present in ground water could speed up or slow down membrane degradation.
Another line of research concerns optimisation of operating conditions for filtration. This work has been carried out in recent years in collaboration with the AQUASOURCE company in the field of drinking-water production (PhD of Yolaine Bessière). A filtration pilot plant, with two units running in parallel, has been operated on the banks of the Canal du Midi. It is known that there are critical conditions for filtration below which the accumulation of matter on the membrane surface is reversible. In the present case,

DÉPARTEMENT GIMD

culté pour l'équipementier, qui ne peut pas compter sur une variation de ces propriétés (souvent les plus faciles à déterminer en fonctionnement) pour anticiper le vieillissement. En terme de mécanisme de dégradation, les résultats obtenus nous ont amené à formuler l'hypothèse d'une oxydation radicalaire par les radicaux hydroxyles produits par une réaction des deux formes de l'hypochlorite en présence d'eau. Un champ intéressant de recherche s'ouvre alors pour explorer quels composés pourraient accélérer (cations catalyseurs éventuellement présents dans les eaux naturelles) ou ralentir (composés judicieusement ajoutés aux formulations de nettoyage) la dégradation.
Une autre voie d'investigation est la recherche des conditions opératoires optimales de filtration. Avec cet objectif, une thèse s'est déroulée ces trois dernières années en collaboration avec la société Aquasource (Thèse en cours de Yolaine Bessière - Projet Memeau du Réseau RITEAU) dans le domaine de la filtration d'eau pour la potabilisation. Il a été possible de mettre en évidence des conditions critiques de filtration en dessous desquelles l'accumulation de matière au voisinage de la membrane est réversible. En se dotant de matériel spécifique (installation d'une plateforme de filtration avec deux unités en parallèle au bord du canal du midi) des conditions durables de fonctionnement du procédé, intégrant des purges des modules de filtration avant que le volume filtré ne dépasse une valeur critique, ont été définies (Bessière et coll., 2005). Ce type d'utilisation extensive du procédé limite la consommation énergétique nécessaire aux cycles filtration/décolmatage et/ou doit permettre de limiter le recours aux séquences de nettoyage chimique.

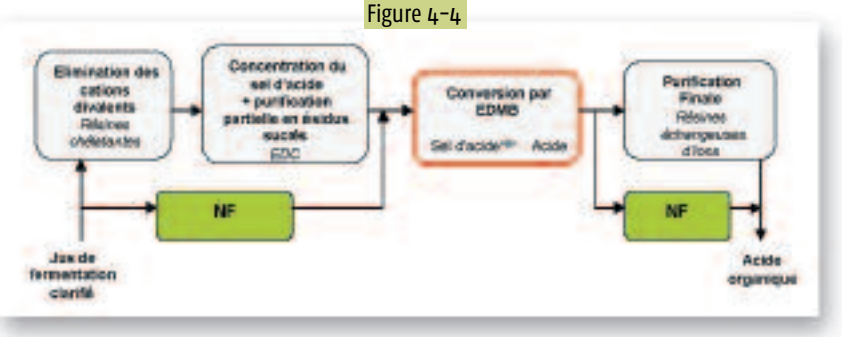
Des travaux sont également effectués sur des procédés intégrés associant séparation et réaction, à des fins d'intensification.
Dans l'optique de permettre de traiter des eaux turbides par photo oxydation ou photocatalyse (minéralisation de contaminants chimiques) un couplage original a été étudié sous forme d'un contacteur à membranes de dialyse associé en parallèle à un photoréacteur. L'étude expérimentale a porté sur un effluent de l'industrie pharmaceutique, la DHBA (Acide di hydrobenzoïque), résidu de la production d'acide salicylique (thèse de Kamal Azrague, en cours). Toujours dans le domaine du traitement des eaux, mais avec une orientation vers la production d'eau potable à partir d'eaux de surface, nous développons des travaux concernant le couplage entre coagulation et filtration sur lits granulaires. Ces études sont portées par une collaboration avec l'Université de Ngaoundéré (Cameroun), et sont fortement orientées par les problématiques rencontrées sur le terrain au Cameroun. Deux aspects sont actuellement plus particulièrement étudiés au laboratoire. L'un porte sur la caractérisation de sables d'origine volcanique pour construire des lits fixes filtrants. Ces derniers s'avèrent très efficaces en termes de rétention de matières en suspension et de rétention de matière organique coagulée (réduction de la turbidité), si on les compare aux sables utilisés classiquement (thèse de Sylvère Ndi, en cours). L'autre aspect étudié, porte sur la stabilité du couplage entre coagulation et filtration sur sable. Dans cette étude, nous simulons les écarts de fonctionnement de l'étage de coagulation (variation de la turbidité en entrée, variation du dosage des coagulants et de leurs conditions de mélange avec l'eau), et étudions ses répercutions sur l'efficacité du filtre : Nous comptons ainsi

it was possible to specify conditions for sustainable operation, in which the membrane modules are purged as soon as the volume filtered approaches a critical value (Bessière et al., 2005). Running the filtration process under these conditions lowers the energy consumption for the filtration/cleaning cycles and should also remove the need of chemical cleaning.
Integrated processes, where separation and reaction are combined, are also studied as a means of process intensification. An example of such processes is one in which a membrane contactor is associated, in parallel, with a photo-reactor that treats turbid water by photo-oxidation. The experimental study was carried out using DHBA, a pharmaceutical waste substance coming from the production of salicylic acid (PhD of Kamal Azrague). The coupling of coagulation and filtration through granular beds is also studied for the production of drinking water from river water. This work in co-operation with Ngaoundéré University, Cameroon, is obviously oriented towards problems encountered in that country. Two aspects are more precisely investigated. The first is concerned with characterising natural volcanic sands that could be used as media for filtration through granular beds: such materials have proven their efficiency in removing suspended matter as well as coagulated organic matter, compared with sands traditionally used for such applications (PhD of Sylvère Ndi). Another aspect is the stability of the coupling of coagulation and sand filtration. The variability of the coagulation stage (variations in inlet water turbidity, coagulant dose, mixing conditions for coagulant and water, ...) is examined to determine its impact on filtration efficiency. The objective is to define acceptable conditions and design parameters that would increase the flexibility of the coupling required under conditions encountered in tropical wet zones (PhD of Désiré Di Hang).
The combination of electrodialysis with biological treatment is studied as a way of improving the management of salty organic-aqueous wastes (PhD of Elodie Singlande). Previous work has shown that the efficiency of the biological oxidation process is significantly deteriorated if the effluent contains mineral salts. On the other hand electrodialysis is known to provide a high demineralisation factor, with a reduction in salt content that can sometimes be accompanied by a purification, i.e. a change in salt composition. At the present time, there is no detailed knowledge of the relationship between salt content and the efficiency of the biological treatment. Our aim is to use a restricted number of synthetic aqueous wastes, of different compositions, to investigate the performance of the integrated process combining electrodialysis with bio-reaction to compare it with traditional treatments. Phenomenological models are being developed to define the relationship between the characteristic process parameters (operating conditions, waste composition) and the relevant electrodialysis performance (demineralisation factor, organic matter yield).

dégager les conditions acceptables et les règles de dimensionnement des filtres qui permettraient de rendre le couplage tolérant au écarts de fonctionnement constatés en exploitation des stations de production d'eau en zones tropicales humides (thèse en cours de Désiré Dihang).
Afin d'améliorer la gestion des effluents salins, le couplage entre électrodialyse et traitement biologique fait l'objet d'une étude spécifique (thèse en cours d'Elodie Singlande, Allocation Ministérielle, Collaboration LIPE Plateforme FERMaT). En effet, divers travaux de la littérature ont démontré que l'efficacité de l'oxydation par voie biologique est significativement réduite en présence de sels. Dans la pratique, au delà d'un certain seuil, le seul recours possible est donc l'incinération. Il est par ailleurs acquis que l'électrodialyse permet d'obtenir des taux de déminéralisation très élevés et que la déminéralisation peut également être accompagnée d'une sélectivité (extraction sélective d'ions multivalents par exemple). Cependant, les différentes références disponibles ne permettent pas d'établir de façon rigoureuse la relation entre l'efficacité du traitement biologique et la composition saline des milieux. Il s'agit donc d'évaluer de façon systématique sur un nombre restreint d'effluents modèles de composition variable, les performances du couplage électrodialyse/traitement biologique afin de les comparer avec les procédés usuels (traitement biologique direct, recours à l'incinération,...). On s'appuie pour cela sur des modèles permettant de relier les performances de l'électrodialyse (taux de déminéralisation et rendement en matière organique) aux paramètres caractéristiques du système (conditions opératoires, composition de l'effluent).

Le dernier niveau, le plus souvent développé dans le cas de partenariats industriels, concerne l'intégration des opérations de séparation membranaires dans différents types de procédés. On peut citer à titre d'exemple les travaux concernant l'intégration de la nanofiltration dans les procédés de production d'acides organiques alimentaires (thèse Antoine Bouchoux, contrat EURODIA Industrie) (Fig. 4.4), l'évaluation de l'électrodialyse pour ajuster la composition ionique des eaux de boissons (contrat Nestlé Waters), le traitement d'effluents salins par électrodialyse (contrat VEOLIA Environnement),...

Figure 4-4



Intégration de la nanofiltration dans les procédés de production d'acides organiques alimentaires

4.4 Perspectives

Dans le domaine des procédés d'élaboration de matériaux en lit fluidisé, deux aspects seront plus particulièrement étudiés. Il s'agit d'une part de la réalisation de dépôts nanométriques d'oxydes de diverse nature par OMCVD (organo Metallic CVD) sur des poudres submicroniques en lit fluidisé vibré. Il s'agit d'autre part d'étendre l'utilisation de ces procédés au cas du post traitement de matériaux thermosensibles, en activant par exemple les réactions de CVD par des plasmas froids.

Finally, the integration of membrane operations into different kinds of process flowsheets is sometimes investigated in partnership with end users: integration of nanofiltration into the process for producing organic acids for food applications (partnership with EURODIA INDUSTRY, PhD of Antoine Bouchoux), adjustment of ion content of bottled water (partnership with NESTLÉ WATERS), treatment of salty liquid wastes (partnership with VEOLIA ENVIRONNEMENT), ...

4.4 Perspectives

In the field of materials manufacture in a fluidised bed, two aspects will undergo particular study. A first part will be devoted to the formation of nanometric oxide deposits of different sorts by OMCVD (Organo-Metallic Chemical Vapour Deposition) on submicronic powders in a vibrated bed. The second aspect will deal with extending the use of these processes to the case of post-treatment of thermosensitive materials, for example, by activating CVD reactions using cold plasmas.
In order to limit the degradation of membranes by heat during the process of modification by UV photo-grafting, new monochromatic lamps will be used that emit little or no infra-red radiation. Furthermore, new ways of fabricating nano-structued materials will be looked for, starting from self-organised systems (emulsions, micro-emulsions, colloidal crystals, block co-polymers). This work aims at finding ways of fabricating membranes: firstly membranes adapted to new processes such as L/L or G/L contactors or membrane emulsification and secondly fabrication techniques using less solvent and generally less chemicals.
In the production of drinking water by membrane processes, certain mechanisms of membrane degradation have been discovered; it would be useful to know to what extent certain compounds, even those naturally present in surface water, could have an influence on the life-time of membrane plants. Research on intensifying processes, by combining reaction and separation must be reinforced. Work under way on the coupling of photo-oxidation with dialysis or electrodialysis with biological treatment for effluents will continue. Other types of coupling (adsorption with nanofiltration, membrane bioreactor with nanofiltration) will be examined for eliminating chemical pollutants with the aim of ensuring that the permeate is free of toxic compounds.

DÉPARTEMENT GIMD

Afin de limiter la dégradation des membranes par échauffement lors du procédé de modification par photogreffage UV, l'utilisation de nouvelles lampes monochromatiques, émettant peu ou pas d'infrarouge, sera envisagée. Au delà, de nouvelles voies d'élaboration seront recherchées pour fabriquer des matériaux nano structurés à partir de systèmes auto organisés (émulsion, microémulsion, cristaux colloïdaux, copolymère à block). Il s'agit de développer des procédés permettant de fabriquer des membranes adaptées au besoin des procédés émergeants tels que les contacteurs L/L ou G/L, l'émulsification par membrane par exemple d'une part et moins consommateurs de solvants et de produits chimiques d'autre part.
Dans le domaine des procédés membranaires, certains mécanismes de dégradation ayant été mis en évidence, on peut envisager d'évaluer dans quelle mesure certains composés, éventuellement naturellement présents dans les eaux, peuvent influencer la durée de vie des installations. Les travaux concernant l'intensification des procédés, en couplant réaction et séparation doivent être encore renforcés. Les travaux en cours sur le couplage photooxydation/dialyse ou électrodialyse/traitement biologique pour le traitement d'effluents seront poursuivis. D'autres types de couplage (Adsorption-Nanofiltration ou Bioréacteur à membrane-Nanofiltration) seront envisagés dans le cas de l'élimination de polluants chimiques afin de garantir un perméat exempt de composés toxiques.

5 Développement de méthodes et techniques de caractérisation

P. Aimar, P. Aptel, P. Bacchin, B. Biscans, C. Causserand, M. Clifton, C. Frances, J.F. Lahitte, O. Masbernat, M. Meireles, N. Le Bolay, J.C. Remigy

L'étude des mécanismes au niveau des interfaces et la compréhension des phénomènes qui s'y déroulent reposent sur la connaissance locale des propriétés aux interfaces. L'adaptation des techniques de caractérisation existantes et le développement de méthodologies appropriées sont alors souvent nécessaires pour apporter un niveau de connaissance suffisant. C'est souvent par le couplage de techniques de caractérisation différentes que l'on parvient à identifier et comprendre les processus physiques ou physico-chimiques se déroulant au cours des procédés. Mais la complexité des processus dans les problèmes abordés au sein du département GIMD impose aussi le développement de nouvelles techniques ou méthodologies d'analyse. Ces dernières années, des recherches ont été focalisées vers la caractérisation des propriétés physiques des suspensions denses ainsi que la caractérisation de l'efficacité et de la structure de membranes de filtration.

5.1 Caractérisation des propriétés physiques de suspensions denses

De nombreux procédés industriels (précipitation, floculation, broyage en voie humide, ...) mettent en jeu des suspensions concentrées de particules colloïdales, notamment pour la production de peintures, de ver-

5 Development of characterisation techniques

P. Aimar, P. Aptel, P. Bacchin, B. Biscans, C. Causserand, M. Clifton, C. Frances, J.F. Lahitte, O. Masbernat, M. Meireles, N. Le Bolay, J.C. Remigy

To study phenomena occurring at interfaces and understand mechanisms involved on this scale, local characterisation of the interface properties is required. It is often necessary to adapt existing technologies or develop new ones in order to obtain enough information. Coupling different characterisation techniques often allows physical and physico-chemical processes to be identified and understood. However, due to the complexity of the problems analysed by the GIMD department, new techniques or methodologies often have to be developed. Over the past four years, research has been focused on the characterisation of the physical properties of powders or dense suspensions as well as on the efficiency and the structure of filtration membranes.

5.1 Characterisation of physical properties of dense suspensions

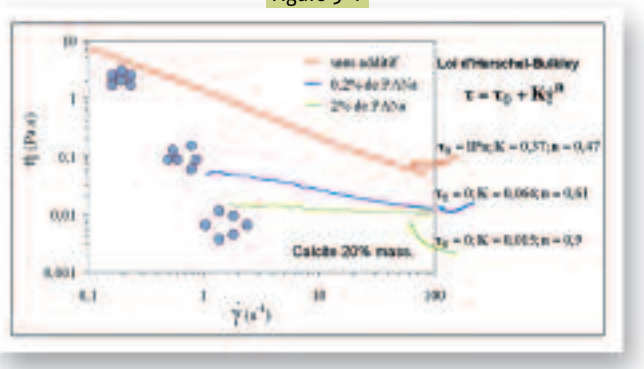
Numerous industrial processes (precipitation, flocculation, wet grinding, ...) deal with dense suspensions of colloidal particles, for example in the production of paint, varnish, cosmetics, pharmaceutical or agrochemical products. An inherent problem with the different methods of generating or treating nano-particles in conentrated suspensions is the difficulty of controlling aggregation and so of preserving product quality. The problem of understanding fracture, coalescence or aggregation phenomena occurring during particle processes is often linked to a lack of analytical techniques that can be used in situ or on line in processes. At present, we are analysing the capabilities of acoustic spectroscopy. Sound waves interact in a similar manner to light waves but have the advantage of travelling through concentrated suspensions and emulsions. Ultrasonic attenuation spectroscopy is capable of examining concentrated or optically opaque systems without any dilution. Such in-situ characterisation of concentrated systems makes the acoustic method very useful as it does not require modification of the state of dispersion of the suspended particles. An agreement has been concluded between FERMaT and MALVERN INSTRUMENTS LTD (a company that develops this type of technology.
A typical application of this technology is a colloidal silica suspension destabilised in a stirred tank by adding sodium chloride to a stable dispersion (PhD of Mallorie Tourbin):

nis, de produits cosmétiques, pharmaceutiques ou agroalimentaires. Une problématique commune à la plupart des procédés de génération ou de traitement de particules colloïdales en suspension est la difficulté à maîtriser les processus d'agrégation, qui ont une incidence directe sur la qualité des produits formulés. Or, la difficulté de compréhension des phénomènes de fracture, de coalescence ou d'agrégation des particules, au cœur de ces procédés, est souvent liée au manque de techniques analytiques in situ ou en ligne des procédés.
Nous explorons actuellement les potentialités de la spectroscopie acoustique. A la différence des techniques traditionnelles utilisant des rayonnements lumineux, les ultrasons se propagent bien dans les milieux opaques ou visqueux, ce qui évite de diluer et donc de modifier l'état de dispersion des particules en suspension pouvant provoquer des processus d'agrégation ou de de-agglomération de la phase dispersée. Un Accord de Partenariat Scientifique, a été établi au nom de la Structure Fédérative FERMaT avec la Société Malvern Instruments Ltd qui développe ce type de technologie.

En particulier, des essais de déstabilisation de suspensions denses de silice colloïdale par ajout de sel ont été effectués en cuve agitée avec un suivi par spectroscopie acoustique (thèse de Mallorie Tourbin, Allocation Ministérielle, en cours). Les cinétiques successives d'agrégation péricinétique et orthocinétique ont pu être déterminées à partir des spectres d'atténuation acoustique obtenus à différentes fréquences.

Le comportement rhéologique des suspensions denses et son évolution lors des procédés de génération ou de traitement joue également un rôle essentiel sur la qualité des produits formulés (stabilité des suspensions, dispersité, ..) (Fig. 5.1). Des études rhéologiques sont menées pour comprendre, voire caractériser, l'évolution structurale des suspensions lors de procédés de génération ou de traitement de solides divisés en suspension. Des mesures rhéologiques menées en écoulement et en oscillation sur des suspensions de cristaux d'efflucimibe ont ainsi permis de relier les propriétés structurales de la suspension aux paramètres du procédé (thèse de Sébastien Teychene, bourse BDI CNRS/Laboratoires Pierre Fabre).

Figure 5-1



Influence du polyacrylate de sodium sur le comportement rhéologique de suspensions de calcite

5.2 Utilisation de la microscopie électronique à balayage pour la caractérisation des mécanismes de production de matériaux composites par action mécanique

Dans un procédé de production de matériaux composites par co-broyage, il est primordial de comprendre les mécanismes mis en jeu lors de l'association des constituants. Une partie du travail de thèse de Céline

the evolution of the acoustic attenuation spectra was used to determine the perikinetic and the orthokinetic stages of aggregation (.
The rheology of dense suspensions and its evolution during generation and treatment of the suspensions have an important incidence on product quality (suspension stability, dispersity, ...). As an illustration, an example is given below (3). Rheological studies are performed to characterise the evolution of the suspension structure during particle processes. Thus, shear and oscillation rheological measurements on suspensions of efflucimibe crystals allowed relationships to be established between structural properties and process parameters (Sébastien Teychene, BDI PhD grant financed by CNRS and LABORATOIRES PIERRE FABRE).

5.2 Use of Scanning Electronic Microscopy (SEM) to characterise the mechanisms involved in the mechanical production of composite materials

In the production of composite materials by co-grinding, it is essential to understand the mechanisms involved during the association of components. Part of Céline Zapata-Massot's work (PhD, 2004) was devoted to this point. It is based on the identification of fragmentation and agglomeration kinetics during co-grinding. For this purpose, a new method based on SEM image analysis was developed (Zapata et al., 2004).

5.3 Characterisation of membranes by retention of standard molecules

In many applications of membrane separation processes, the membrane is currently chosen on the basis of the molecular weight cut-off deduced from a selectivity curve. But the methods used to determine the membrane selectivity curve often lead to non-reproducible results and do not allow detection of defects 1000 to 5000 times larger than the mean pore radius (Causserand et al., 2002). A new procedure has been developed for determining the selectivity curve by measuring tracer retention so as to improve the results in terms of reproducibility and sensitivity to changes in pore size. Different methods (using various tracers, separately or mixed) were compared. The results show that in order to obtain a selectivity curve, and so a mole-

Zapata-Massot a été consacrée à ce point. Elle s'appuie sur l'identification des cinétiques de fragmentation et d'agglomération des particules au cours du co-broyage. A cet effet, une méthode originale, basée sur l'acquisition et le traitement d'images MEB, a été développée (Zapata et coll., 2004).

5.3 Caractérisation de membranes par mesures de rétention de molécules étalons

Dans de nombreuses applications utilisant les procédés membranaires, le choix de la membrane se fait sur la base de son seuil de coupure déduit de la courbe de sélectivité. Or, les méthodes actuelles de détermination de la courbe de sélectivité d'une membrane ne conduisent pas à des résultats reproductibles et ne permettent pas la mise en évidence de la présence de défauts 1000 à 5000 fois plus gros que le rayon moyen des pores (Causserand et coll., 2002). Nous avons proposé une nouvelle procédure de détermination de la courbe de sélectivité par mesures de rétention de traceurs afin d'améliorer les résultats en terme de reproductibilité et de sensibilité à une modification de la taille des pores. Pour ce faire, différents protocoles (divers traceurs, utilisés en mélange ou séparément) ont été comparés. Les résultats obtenus permettent de conclure que pour atteindre une courbe de sélectivité, et donc un seuil de coupure, qui puissent être qualifiés de caractéristiques " intrinsèques " de la membrane, il est préférable de filtrer successivement plusieurs solutions contenant chacune un seul type de traceur monodisperse (PEG).
Lors du traitement des données, plusieurs niveaux de description des mécanismes de transfert peuvent être considérés. Pour le plus simple, l'utilisation de la loi du film, qui rend compte de la polarisation de concentration à la surface de la membrane, permet d'atteindre pour chaque traceur le coefficient de transfert à travers la couche limite et le taux de rétention à la membrane Rm. Pour le plus avancé, le taux de rétention observé est exprimé en fonction non seulement du transfert du soluté dans la couche limite mais aussi à travers la structure poreuse (régime mixte diffusion convection dans le pore). Cette dernière procédure permet d'accéder à des valeurs plus pertinentes des coefficients de transfert (dans la couche limite et dans le pore) et du taux de rétention par le calcul d'une valeur Rinf, qualifiée d'intrinsèque car indépendante des conditions opératoires, valeur limite vers laquelle tend le taux de rétention à la membrane lorsque le flux de perméation augmente (Causserand et coll., 2004).

5.4 Caractérisation de membranes fibres creuses par micro tomographie de rayonnement synchrotron reconstitution 3D de fibres creuses

Nous sommes également en permanence à la recherche de techniques de caractérisation de la structure même des membranes. Les techniques de microscopies sont souvent inadaptées du fait de la nature du matériau et parfois de sa géométrie. La micro tomographie de rayonnement synchrotron, - une nouvelle

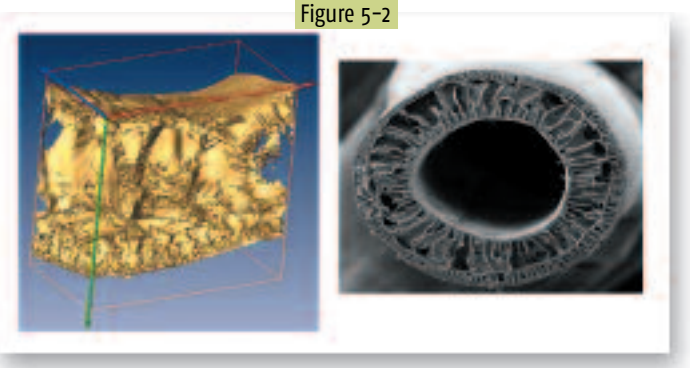
cular weight cut-off, that can be considered as an 'intrinsic' property of the membrane, it is better to filter successively different solutions, each containing one type of monodisperse tracer (PEG).
For treating the data, different levels of description of transfer mechanisms can be considered. The simplest one uses the film model to take into account the concentration polarisation at the membrane surface: this makes it possible to obtain for each tracer the transfer coefficient through the boundary layer and the membrane retention coefficient Rm. A more sophisticated one considers not only the solute transfer through the boundary layer, but also through the porous structure of the membrane (mixed diffusion-convection regime inside the pore). The latter procedure gives more correct transfer coefficients (inside the boundary layer and inside the pore) and the asymptotic retention coefficient Rinf : the limiting value of Rm with increasing permeation flux (Causserand et al., 2004). This is the only really intrinsic characteristic of the membrane/solute system since it depends only on pore size with respect to the given solute and is independent of transport phenomena.

5.4 Characterisation of hollow-fibre membranes by micro-tomography of synchrotron radiation 3D reconstruction of hollow fibres

We are also testing new techniques for characterising membrane structure. Techniques based on microscopy are often not appropriate because of the nature of the material and its geometry. Micro-tomography by synchrotron radiation is a method only recently used for synthetic membranes; it has been applied to the observation of fibres used in micro- and nanofiltration processes. This technique allows the membrane structure to be visualised without specific pre-treatment. The structures which are observed are those of a new wet membrane. Micro-tomography consists in taking about 1000 X-ray absorption photographs at different angles around the fibre. These images are treated using algorithms developed by ESRF to obtain the three-dimensional image of the hollow fibre, which can be explored using AMIRA" software. The first observations of the structure show how useful this technique is for simulating flow inside membranes, understanding formation of the membrane or revealing large defects. The figures show the structure of a PvDF-HFP hollow fibre used for nanofiltration reconstructed using micro-tomography and compared with SEM photographs.

technique d'imagerie dans le monde des membranes synthétiques - a été appliquée à l'étude de FC de microfiltration et d'ultrafiltration. Cette technique permet de visualiser la structure des membranes sans aucune préparation préalable ni découpe précise. Les structures observées sont celles d'une membrane neuve humide. La micro tomographie consiste à la prise d'environ 1000 radiographies d'absorption autour de la fibre creuse. Le traitement de ces radiographies à l'aide des algorithmes de calculs développés à l'ESRF restitue l'image tridimensionnelle de la fibre creuse. Les images tridimensionnelles obtenues à l'ESRF ont été traitées à l'aide du logiciel AMIRA". Pour la première fois, les structures tridimensionnelles des FC ont été reconstruites (Fig. 5.2). Les premières observations structurales montrent l'intérêt de cette technique pour simuler les écoulements dans des membranes, comprendre la formation des membranes ou la recherche de défaut à grande échelle.

Figure 5-2



Fibre creuse de microfiltration en PvDF- co HFP.
Vue partielle de la structure tridimensionnelle reconstruite par micro tomographie de rayonnement synchrotron (gauche)
et observée par microscopie électronique à balayage(droite)

5.5 Perspectives

La compréhension des phénomènes physiques se déroulant aux interfaces solide-solide ou solide-fluide nécessite une connaissance toujours plus approfondie des propriétés des matériaux au cours des procédés et des recherches futures ambitieuses vont concerner cette thématique.
Concernant les procédés de génération et de traitement des solides divisés (broyage, cristallisation, agrégation, mise en forme), l'un des problèmes majeurs a trait à la caractérisation des propriétés physiques des suspensions concentrées de particules in situ ou en ligne dans les procédés. Aussi, nous allons poursuivre l'exploration des techniques basées sur la diffusion multiple de la lumière et la spectroscopie acoustique pour la caractérisation de particules fortement anisotropes ou à structure évolutive mises en suspensions denses sous écoulement.
Concernant les procédés de séparation par membrane, l'une des caractéristiques essentielles est la distribution de taille des pores, dont la détermination reste encore délicate, en particulier dans le cas des membranes d'ultrafiltration, dont les diamètres de pores sont de l'ordre de la dizaine de nanomètres. Nous envisageons donc de définir un modèle permettant le calcul de la distribution de tailles de pores à partir de données expérimentales relatives à la courbe de sélectivité obtenue par mesures de rétention de molécules étalons. Cette technique nous permettra de mettre en exergue une modification éventuelle de la structure poreuse des membranes lors de leur vieillissement. Par ailleurs, nous projetons de poursuivre l'exploitation de la technique de microtomographie à radiation synchroton, récemment utilisée au LGC pour accéder à la reconstruction dimensionnelle de membranes. Ceci va nécessiter le développement de méthodes pertinentes d'extraction de l'information contenue dans les images tridimensionnelles.

5.5 Perspectives

To understand physical phenomena occurring at solid-solid or solid-fluid interfaces an ever deeper understanding of materials properties during processes is required and ambitious future research will be devoted to this field.
Concerning the processes for generating or treating divided solids (grinding, crystallisation, aggregation, shaping), one of the major problems is related to the characterisation of physical properties of concentrated particle suspensions, either in situ or on-line in processes. So we will continue to explore techniques based on multiple scattering of light and acoustic spectroscopy for characterising strongly anisotropic particles or particles with evolving structure, present in flowing dense suspensions.
In membrane separation processes, one of the essential characteristics is the membrane pore-size distribution and its determination remains problematic, particularly for ultrafiltration membranes, whose pore diameters are about ten nanometers. A mathematical model will be developed that will allow the pore-size distribution to be calculated from the selectivity curve obtained by measuring retention of probe molecules. This technique will make it possible to detect a possible modification in the porous structure of membranes during ageing. On the other hand X-ray micro-tomography was recently tested as a way of determining the internal structure of membranes and this approach will be continued. It will require the development of effective methods for extracting information from three-dimensional images.

DEPARTEMENT
Procédés Electrochimiques et Matériaux (PEM)

1. Réacteurs électrochimiques
Electrochemical Reactors

2. Electrochimie des Milieux à Hautes Températures
Electrochemistry in High Temperatures Media

3. Capteurs Electrochimiques et Procédés
Electrochemical Sensors and Processes

4. Interfaces matériaux conducteurs/systèmes biologiques
Interfaces conductive materials/biological systems

Introduction

Outre l'étude des phénomènes classiques de transfert, la spécificité de la recherche au département PEM est de s'intéresser aux interfaces réactives et aux transferts électroniques qui y prennent place, que cela concerne les échanges de charges dans un processus spontané (electroless, traitements agroalimentaires ...), les interactions entre un organisme vivant et un matériau conducteur ou encore la régulation de la vitesse d'une transformation sélective (contrôle du potentiel ou du courant).

Les activités de recherche pluridisciplinaires couvrent un important domaine d'applications mettant en jeu une large panoplie

- de méthodes de travail : électrocinétique, électrocatalyse, interaction avec le vivant
- de paramètres physico-chimiques : milieux bi et poly-phasiques, températures allant de l'ambiant au-delà de 1000°C, tailles comprises du micron à l'échelle pilote ...

L'objectif commun est d'utiliser et de développer des outils électrochimiques nécessaires à la conception de procédés innovants, de matériaux nouveaux et de nouvelles méthodes pour analyser et comprendre les processus élémentaires (chimiques, biologiques et physiques) et leur couplage.

Les activités sont présentées en quatre thèmes :
Réacteurs électrochimiques
Electrochimie des Milieux à Hautes Températures
Capteurs Electrochimiques et Procédés
Interfaces matériaux conducteurs / systèmes biologiques

DEPARTMENT
Electrochemical Process and Material Engineering

Introduction

In addition to the classical transfer phenomena study, the Electrochemical Processes and Material Engineering department is interested in the reactive interfaces and the electronic transfers implied in these interfaces. This specificity concerns either the charge exchanges in a spontaneous process (electroless, food industry...), the interactions between an alive organism and a conductive material or the rate regulation of a selective transformation (control of potential or current).

The multidisciplinary research activities cover a large implementation field including various working methods (electrokinetic, electrocatalysis, interaction with the alive medium ...) and physico-chemical parameters (Bi and polyphasic media, range of temperatures between 20°C to over 1000°C, sizes from the micron to the pilot scale ...).

The common objective is to allow for the use and the development of electrochemical tools required designing innovating processes, new materials and new methods for analysing and understanding the elementary processes (chemical, biological and physical) and their coupling.

The activities are presented following four topics:
Electrochemical Reactors
Electrochemistry in High Temperatures Media
Electrochemical Sensors and Processes
Interfaces conductive materials/ biological systems

I Réacteurs Electrochimiques

1 Electrochemical Reactors

P. Duverneuil, B. Lafage, J. Lozar, A.M. Romulus, A. Savall, K. Serrano-Groenen, T. Tzédakis, H. Vergnes

L'objectif est de concevoir des réacteurs pour l'étude de procédés électrochimiques. L'électron, réactif redox le moins onéreux, peut, sans former de sous-produits, conduire à des produits de haute valeur ajoutée grâce à des transformations sélectives. Quel que soit le type de réacteur électrochimique, sa taille ou l'objectif de son utilisation (production, analyse, mécanisme) la conduite de la recherche présente des points communs tels que: approche thermodynamique, étude cinétique, choix des matériaux et des conditions opératoires, établissements des bilans matière et énergétique.

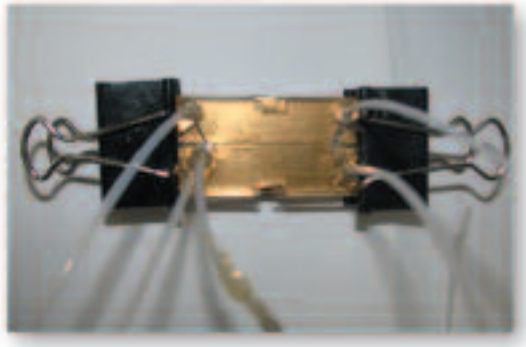
I.1 Synthèse

Microréacteur

La recherche sur cette thématique, relativement récente au laboratoire (~2001), a été initiée par A. Bergel dans le cadre d'une collaboration CNRS/université d'Urbana-Champaing. La recherche s'est poursuivie depuis et l'accent est mis sur le développement des nouveaux microréacteurs; plus particulièrement, il s'agit de concevoir, élaborer et optimiser des microréacteurs électrochimiques pour l'électrosynthèse (organique et enzymatique) et la dépollution.

En général, la miniaturisation de l'élément caractéristique (veine d'écoulement) d'un microréacteur, crée des conditions opératoires spécifiques, comme l'uniformisation des paramètres de contrôle, la possibilité d'atteindre de fortes variations locales, l'amélioration générale de transferts, ce qui, d'une part, est bénéfique aux procédés de synthèse (amélioration de la sélectivité, conditions opératoires adoucies, ...), et d'autre part, ouvre de nouvelles voies en électro-synthèse, en autorisant par exemple une évolution réactionnelle à l'encontre des prévisions de la thermodynamique. Par ailleurs, une surface spécifique élevée, couplée à un contrôle fin du potentiel et à l'utilisation de la catalyse enzymatique, confère aux microréacteurs des sélectivités accrues rendant certains procédés (synthèses chirales par exemple) économiquement envisageables.

L'application principale concerne la synthèse enzymatique électro-assistée des composés chiraux ; il s'agit en particulier de développer 'le micro-réacteur' qui permettrait de réaliser et optimiser la régénération du cofacteur pyridinique (NADH), par l'intermédiaire d'un médiateur redox, la flavine adénine dinucléotide (FAD). Le NADH électro-régénéré est utilisé pour la synthèse de composés modèles, ici le L-lactate à partir du pyruvate. La méthode de fabrication de la microveine unitaire adaptée à la synthèse recherchée (électroérosion en sous-trai-



Microréacteur électrochimique monocanal à section parallélépipédique ; Anode et cathode en or ; distance interélectrodes variable de 50 à 200 µm

One channel electrochemical microreactor ; Anode and cathode gold made ; distance interelectrodes in the range from 50 to 250 µm

The aim is to conceive reactors for the study of electrochemical processes. The electron is the least expensive redox reagent; it acts without side-products and can lead by selective way to products of high added value. Whatever the type of electrochemical reactor, its size or its use (production, analysis, mechanism), the research follows common points such as : thermodynamic and kinetic approaches, choice of materials and operating conditions, mass and energy balances.

1.1 Synthesis

Microreactor

The objective of this research is to study electrochemical microreactors and their potentialities in chemical synthesis (organic and enzymatic), as well as to understand the electrochemical degradation of organics in wastewaters treatment. Reducing the size of the electrolytic compartments until scale of the µm makes possible to create a low volume device, including microstructures with high specific area. The microreactors designed make possible to operate under various conditions which permit to introduce new reaction paths in synthesis. Indeed, gradients of concentration, potential or temperature go to disappear and in general, heat and mass transfer coefficients increase; moreover fine control of potential allows to reach, at local scale, high ratios concentration between oxidized and reduced forms, and by the way to increase selectivity and yields. Conception of microreactors for enzyme catalyzed electrosyntheses of chiral molecules is the main application carried out; the first step is to regenerate the NADH cofactor which intervenes in numerous biological processes; indirect regeneration is achieved using flavin adenine dinucleotide (FAD/FADH) as redox mediator. The electro-regenerated NADH is used to perform synthesis of the L-lactate (a model compound) from the pyruvate. Electroerosion and silicium moulding are technologies used to manufacture the microchannels. Size, type, shape and surface state of channels constitute key parameters in the study (Choban et al., US Patent, 2004; Tzedakis et al., french patent, 2004; Tzedakis et al., US Patent, 2004; Yoon et al., 2005).

C. Kane (PhD student) has obtained very promising results by using a filter press microreactor with a geometric area higher

DÉPARTEMENT PEM

tance et/ou technologie de moulage au PDMS en collaboration avec Urbana Champain, US), mais aussi la définition de ses caractéristiques (dimensions, forme, état de surface,...), constituent des étapes clés de l'étude. Trois brevets (Choban et al., US Patent, 2004 ; Tzedakis et al., brevet français, 2004 ; Tzedakis et al., US Patent, 2004) et un article (Yoon et al., 2005) concrétisent ces travaux, dont les résultats (C. Kane, thèse en cours, 2002) sont prometteurs : le microréacteur présente une surface spécifique de 250 cm^{-1}, il a été optimisé et présente une haute efficacité ; grâce à ses multiples canaux de forme arrondie, il permet la régénération de NADH avec une production de 10 mol/h/m^2 et incite à poursuivre au niveau de la synthèse des molécules chirales médicalement intéressantes, dans le cadre d'un procédé réalisable et viable.

Electrosynthèse organique

L'activité en électrosynthèse a fortement diminué ces dernières années ; 2002 a été une année charnière pour une réorientation des activités de l'électrochimie vers des applications environnementales.

Autoxydation électrochimiquement assistée

Dans l'autoxydation électrochimiquement assistée, l'oxydant est l'oxygène gazeux, le solvant est l'acide acétique, le catalyseur est l'acétate de Co^{III}. Un courant d'électrolyse augmente la concentration en solution de Co^{III}. Pour le *p-tert*-butyltoluène, les résultats obtenus par l'assistance électrochimique sont: (a) l'accélération de la réaction : le substrat est oxydé en 6 heures au lieu de 32, (b) l'augmentation de 20% de la sélectivité en *p-tert*-butylbenzaldéhyde, intermédiaire d'intérêt pratique (Lozar et al., 2002). Mais l'élucidation de la cinétique de la réaction exige la compréhension des propriétés de l'acétate de Co^{III}, dans le solvant acétique, avec ou sans eau, avec ou sans sel de fond et à diverses températures. D'où l'étude de la réduction de l'acétate de Co^{III}. Grâce à la déconvolution des spectres des solutions, les résultats obtenus sont les suivants : (a) l'existence de 2 complexes du Co^{III} ($Co^{III}\alpha$ et $Co^{III}\beta$), (b) l'élucidation du mécanisme de réduction : $Co^{III}\alpha \rightleftharpoons Co^{III}\beta \longrightarrow Co^{II}$, (c) la détermination des valeurs des 3 constantes de vitesse associées (T = 35°C-80°C ; [NaAcO] = 1 M ; [H2O] = 3 M), (d) la détermination à tout instant de la concentration de $Co^{III}\alpha$, $Co^{III}\beta$ et Co^{II}. Ce dernier résultat ouvre la voie à la détermination effective de la cinétique de la réaction d'autoxydation.

Initiation électrochimique de l'oxygénation de toluènes

L'oxydation électrochimique directe de toluènes en solution dans l'acide acétique génère des radicaux benzyliques dont l'affinité pour le dioxygène est très grande.

$$ArCH_3 \xrightarrow{-e,-H^+} ArCH_2^{\bullet} \xrightarrow{O_2} ArCH_2O_2^{\bullet} \longrightarrow \text{produits}$$

Cette réaction de couplage peut avoir une productivité satisfaisante si le radical est désorbé de la surface de l'anode pour réagir au sein de la solution saturée en dioxygène. C'est le cas si l'on utilise une électrode Ti/Pt. L'aldéhyde aromatique correspondant est obtenu avec un rendement appréciable (64 % pour le p-méthoxytoluène, 61 % pour le *p-tert*-butyltoluène). Cette nouvelle voie de synthèse a donné lieu à un brevet international (EDF). La démonstration a été faite à l'aide d'un réacteur électrochimique de type Grignard de 20 litres (Post-doc cofinancé par la DAE).

than 10 cm^2 formed by more than 100 rounded microchannels (specific area: 250 cm^{-1}). This 'high performance' microreactor is able to regenerate 10 mol/h/m^2 of NADH and incites to pursue in synthesis of chiral molecule medically interesting.

Organic electrosynthesis

Our activity in electrosynthesis strongly decreased these last years; 2002 was one year hinge for a reorientation of the activities of the electrochemistry towards environmental applications.

Alkylaromatics autoxydation

In electrochemically assisted autoxidation, the oxidant is dioxygen, the solvent is the acetic acid, the catalyst is the CoIIIacetate. An electrolysis current increases the concentration in solution of Co^{III}. For p-tert-butyltoluene, the results obtained by the electrochemical assistance are: a) the acceleration of the reaction: the substrate is oxidized in 6 H instead of 32 H; b) an increase of 20% of the selectivity in p-tert-butylbenzaldehyde, an intermediary of practical interest (Lozar et al., 2002). But the elucidation of the kinetics of the reaction requires the comprehension of the properties of the Co^{III} acetate in acetic solvent, in the presence or not of water or supporting electrolyte and at various temperatures; from where the study of the reduction of the acetate of Co^{III}. Deconvolution of solution spectra conducts to the following results: a) the simultaneous presence of 2 complexes of Co^{III} ($Co^{III}\alpha$ and $Co^{III}\beta$); b) the elucidation of the mechanism of reduction: $Co^{III}\alpha \rightleftharpoons Co^{III}\beta \longrightarrow Co^{II}$; c) the determination of the values of the 3 associated rate constants (T = 35°C-80°C; [NaAcO] = 1 M; [H2O] = 3 M); d) the determination at any moment of the concentration of $Co^{III}\alpha$, $Co^{III}\beta$ and Co^{II}. This last result opens the way to the effective determination of the kinetics of the reaction of autoxidation.

Toluenes oxygenation triggered electrochemically: a new path towards aromatic aldehydes

The electrochemical oxidation of toluenes in acetic acid solution generates benzylic radicals whose affinity for the dioxygen is very high.

$$ArCH_3 \xrightarrow{-e,-H^+} ArCH_2^{\bullet} \xrightarrow{O_2} ArCH_2O_2^{\bullet} \longrightarrow \text{products}$$

This coupling reaction: can have a satisfactory productivity if the radical is desorbed from the anode to react with dioxygen in the bulk. It is case if one uses Ti / Pt anodes. The corresponding aromatic aldehyde was obtained with yields of 64 % for the p-methoxytoluene and 61 % for the p-tert-butyltoluene. This new way of synthesis gave place to an international patent (EDF). Demonstration was made by means of a 20 L electrochemical reactor of the Grignard type (Post-doc grant cofinanced by EDF and CNRS). At the present time this oxygenation process is studied by electrochemical kinetic methods to clear up its mechanism.

Anode soluble

Le procédé à anode soluble permet de réaliser de nombreuses réactions de couplage symétriques et dissymétriques. Les réactions étudiées mettent en jeu l'introduction sélective d'un groupement aryle sur une chaîne carbonée selon l'équation :

$$RX + ArX \xrightarrow{2e,\ Ni_{cat}} R\text{-}Ar + 2X^-$$

Ces réactions conduisent à des produits à haute valeur ajoutée utilisés comme intermédiaires de synthèse dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique, agrochimique ou encore en électronique (Raynal et al., 2002). Notre objectif a été d'augmenter la quantité de produits de couplage pour chaque opération en prenant comme référence les résultats préliminaires de nos partenaires du LECSO (Thiais). La réaction de couplage symétrique a été optimisée en cellule batch dans le cas du bromobenzène. La quantité de catalyseur NiBr2bpy utilisée a été réduite de 10 à 1 % pour une densité de courant cathodique de 125 A m^{-2}. La densité de courant utilisable a été portée de 125 à 500 A m^{-2} pour 1 % de catalyseur. Il a été montré que la concentration maximale de bromobenzène électrolysable est de 2 mol L^{-1} (rendement chimique 80 %). Le rendement du couplage dissymétrique est de 70 % (j=125 A m^{-2} ; catalyseur : 0,02 M). La production a été multipliée par 4 en augmentant proportionnellement les concentrations des réactifs. Le couplage dissymétrique a été transposé dans une cellule tubulaire à circulation (rendement : 50 % par rapport à ArX, pour 2F/mole de ArX) ; par l'application des résultats obtenus en cellule batch la productivité de la cellule à circulation a été multipliée par 3,5.

I.2 Dépollution

Minéralisation de composés organiques

De nombreux effluents liquides contiennent des substances organiques dont la toxicité peut perturber le fonctionnement des installations de traitement biologique des eaux usées. L'élimination de tels déchets nécessite une réflexion globale, car il n'existe pas de méthode universelle d'élimination. A ce propos, l'oxydation électrochimique directe ou indirecte est aujourd'hui une technique prise en considération pour réaliser, dans le cas de produits réfractaires, le prétraitement précédant le procédé biologique ou bien la dégradation jusqu'au terme ultime en dioxyde de carbone et eau.

Elaboration et utilisation de nouveaux matériaux d'électrode

Les études débutées en 1996 sur ce thème ont tout d'abord consisté à élaborer et à comparer les performances d'électrodes d'oxyde de plomb et d'oxyde d'étain. Bien que ces électrodes présentaient de réelles performances en ce qui concerne l'abattement de la pollution (suivi du COT de solutions modèles); elles étaient toutes caractérisées par des durées de vie relativement faibles inhérente à leur mode de fabrication (dip coating, spray pyrolysis).

Afin de supprimer cette limitation, il a été envisagé de fabriquer des électrodes d'oxyde d'étain par CVD sur une couche d'oxyde d'iridium élaborée par dip coating, tout d'abord sur susbstrat plan (0. Bertolini ; Cifre

Soluble anode process

Process with soluble anode makes possible to realize numerous symmetric and asymmetric coupling reactions. Studied reactions involve the selective introduction of an aryl group on a carbon chain according to the equation:

$$RX + ArX \xrightarrow{2e,\ Ni_{cat}} R\text{-}Ar + 2X^-$$

These reactions lead to high added value products used as intermediaries in synthesis (Raynal et al., 2002). Our objective was to increase the amount of coupling products for every operation by taking as reference the preliminary results of our partners of the LECSO (THIAIS). The symmetric coupling was optimized in a batch cell in the case of bromobenzene. The ratio of catalyst (NiBr2bpy) was reduced from 10 to 1 % for a cathodic current density of 125 A m^{-2}. The current density was increased from 125 to 500 A m^{-2} for 1 % of catalyst. It was shown that the maximal concentration of bromobenzene which can be electrolyzed was 2 mol L^{-1} (chemical yield 80 %). The yield in the asymmetric coupling was 70 % for a current density of 125 Am^{-2} (concentration of catalyst 0,02M). Production was multiplied by 4 by increasing proportionally the reagent concentration. Asymmetric coupling was transposed into a tubular cell with recirculation. Chemical yields with respect to ArX are closed to 50 % for a charge of 2F per ArX mole; by the application of results obtained in the cell batch, the productivity of the recirculation cell was multiplied by a factor 3.

1.2 Depollution

Mineralization of organic compounds

Many effluents contain at their ultimate stage organic substances whose toxicity can disturb the biological treatment of wastewater. The elimination of such waste requires a global approach because there is not a universal method. In this connection, direct or indirect electrochemical oxidation is a technique taken into consideration to realize, in the case of refractory compounds, the pre-treatment preceding the biological process or the complete mineralization into water and carbon dioxide.

Elaboration and use of new electrode materials

Studies begun since 1996 have been first involved in building and compare performances of various electrodes. It had been successively checked lead oxide, titanium and tin oxide. In spite of real performances with regard to polluting removal, all electrodes have short life time connected with their elaborating process (dip coating, spray pyrolysis). In order to remove this limitation, it was decided to manufacture tin oxide electrodes by CVD on an iridium oxide layer deposited by dip coating, firstly on flat substrate (0. Bertolini Cifre'PhD; Degrémont 1999) then on three dimensional substrate (N. Bertrand, MESR, 2001). Thanks to this process, life time has been strongly increased

DÉPARTEMENT PEM

Degrémont 1999) puis sur substrat volumique (N. Bertrand MESR 2001). Cette partie de l'étude avait ainsi mis en évidence une augmentation considérable des durées de vie (supérieure à 8000 heures) mais persistait encore un problème de reproductibilité lié à l'élaboration de la sous-couche d'Ir_02. C'est pourquoi, il a été décidé d'élaborer également cette sous-couche par CVD. Ce travail est actuellement en cours d'exécution (S. Klamklang ; Cotutelle Franco-Thaï 2005) pour différents substrats (Ti, Ta, Ta/Ir_02). Différentes conditions d'élaborations sont testées afin d'établir les relations qui lient les conditions de fabrication des électrodes à leur performance (suivi du COT et de la DBO de solutions modèles d'acide oxalique et effluents réels) et à leur durée de vie. Ces tests menés initialement sur des électrodes de tailles modestes (5 cm^2) sont en cours d'extrapolation pour des substrats de 100 cm^2 (10X10 cm) (Duverneuil et al., 2002).

Utilisation du diamant dopé au bore

Des études antérieures réalisées au Laboratoire avec des électrodes de dioxyde de plomb avaient clairement montré que l'oxydation électrochimique était compétitive pour traiter des effluents contenant des résidus toxiques (aromatiques, pesticides, phénols...). L'apparition d'une nouvelle génération d'électrode en diamant dopé au bore a permis d'améliorer la dégradation de composés réfractaires. Ce matériau est propice à la génération de radicaux hydroxyles qui sont très oxydants (Serrano et al., 2002).

Des électrolyses ont été réalisées avec des solutions artificielles contenant un ou plusieurs composés modèles représentatifs d'effluents issus des industries chimique, métallurgique, agroalimentaire ou encore des eaux urbaines (Thèse E. Weiss, initiée en 2003). Il a été aussi réalisé des électrolyses d'effluents réels (eaux domestiques ou issus d'huiles de laminage : DCO ~ 2000-3000 mg/L). Ces expériences ont mis en évidence que dans certaines conditions expérimentales, la matière organique se minéralise en totalité pour donner du dioxyde de carbone et de l'eau. Cette première étude a montré que l'électrochimie peut être un procédé à prendre en considération pour le traitement d'effluents. Cependant l'utilisation d'une anode en diamant est surtout intéressante pour traiter des solutions contenant des composés réfractaires vis-à-vis des procédés traditionnels.

Dans la poursuite de cette étude l'équipe envisage (i) d'élargir le champ des composés modèles et des solutions réelles, (ii) d'appliquer l'électrode de diamant à la mesure de paramètres globaux tels TOC et DCO, (iii) de développer un modèle physico-chimique qui, couplé aux résultats expérimentaux, permettra de comprendre le mécanisme de l'oxydation d'un composé organique utilisant une anode de diamant.

Elimination des métaux lourds

Ces travaux correspondent à des thèses (M. Hunson 2002, M. Teeratanonon 2004) codirigées par le Professeur S. Damronglerd (Thaïlande) et concernent l'élimination de métaux lourds (Nickel, Cuivre, Chrome) contenus dans divers effluents industriels thaïlandais. Ces travaux ont pour objet l'étude expérimentale et la modélisation macroscopique de l'élimination de ces métaux par électrodéposition et électroprécipitation par génération in-situ d'ion hydroxyle lorsque le rendement faradique de l'opération d'élec-

(more than 8000 hours) but the elaboration of the underlayer of Ir_02 couldn't be well controlled. This is why, it was decided to build also this underlayer by CVD. This work is currently in progress (Songsak Klamklang, Cotutelle Franco-Thai, 2001-2005) for various substrates (Ti, Ta, Ta/Ir_02). Various conditions of developments are tested in order to establish the link between the elaborating conditions and the performance of the electrodes (followed by TOC and OBD for synthetic solutions of oxalic acid and real effluent) and their life time. These tests carried out initially on small size electrodes sizes (5 cm^2) are in the course of extrapolation for substrates of 100 cm^2 (10X10 cm) (Duverneuil et al., 2002).

Use of boron doped diamond (BDD)

Previous studies carried out in the Laboratory with lead dioxide electrodes had clearly shown that electrochemical oxidation is competitive to treat effluents containing toxic residues as aromatic compounds, pesticides.... Emergence of a new generation of electrodes such as the boron doped diamond should allow faster and more complete degradation of refractory compound (Serrano et al., 2002).

Electrolyses were carried out with artificial solutions containing one or several model molecules. The selected compounds are representative of various families of known compounds coming from chemical, metallurgical and food industries or urban water (PhD, E. Weiss, initiated in 2003). Galvanostatic electrolysis of real effluents (domestic water or resulting from rolling oils: COD ~ 2000-3000 mg/L) were carried out. These experiments highlighted that under particular experimental conditions, the organic matter is mineralized completely into carbon dioxide and water.

This first study showed that electrochemistry can be a competitive process for the wastewater treatment compared to the industrial processes such as ozonation and biological processes. However it appeared that electrolysis using a BDD anode is especially interesting to treat solutions containing toxic compounds.

The team wishes to widen the field of the model compounds and the real solutions. Simultaneously, this experimental approach will be enriched by the development of a model which, coupled with the experimental results, will allow one to understand the mechanism of the oxidation of an organic compound using a BDD anode.

Heavy metals removal

This work corresponds to PhDs (Mr. Hunson 2002, Mr. Teeratanonon 2004) codirected by Professor S. Damronglerd (Thailand) and deals with heavy metals removal (Nickel, Copper, Chromium) contained in various industrial effluents of Thailand. The goal of these studies is to link experimental results with modelling one during the removal of these metals, at low concentration, by electrodeposition and electroprecipitation tech-

trodéposition est trop faible. Ces études ont permis l'établissement de modèles globaux permettant à la fois le dimensionnement de tels équipements ainsi que d'en assurer leur conduite (Hunsom et al., 2005 ; Teeratananon et al., 2004).

I.3 Dépôts

Les recherches poursuivies dans cette thématique peuvent être déclinées selon leur champ d'application. Le premier concerne les dépôts pour l'industrie microélectronique alors que le second s'intéresse plus particulièrement à l'étude des codépôts.

Dépôt pour l'industrie microélectronique

La miniaturisation de plus en plus poussée et l'augmentation des fréquences de sollicitation des composants microélectroniques sont à l'origine de l'émergence de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies d'élaboration. Le cuivre et un procédé de dépôt par voie liquide ont été retenus pour des raisons économiques. Le procédé electroless a été choisi, car il conduit à des dépôts naturellement uniformes sur les pièces à recouvrir.

Afin d'accroître la connaissance et la maîtrise de ce procédé, nous nous sommes intéressés à l'étude cinétique du dépôt. La faible quantité d'informations disponibles, ainsi que le manque de cohérence de celles-ci, nous ont conduit à étudier dans un premier temps les mécanismes des deux demi-réactions partielles du processus. Les principaux résultats expérimentaux de l'étude cinétique détaillée ont servi à déterminer les différents paramètres des lois électro-cinétiques, nécessaires pour prévoir la croissance de la couche de cuivre (Thèse A. Zouhou, 2002). Notre travail s'est ensuite intéressé à la modélisation de ce type de dépôt pour deux configurations extrêmes (Thèse M. Chikh Djaouti, 2003). La première correspond au cas où le transfert de matière a lieu exclusivement par diffusion alors que pour le second cas, un mode de transport convectif-diffusif est pris en considération. La confrontation des résultats théoriques et expérimentaux a permis de valider les différents modèles. Le comblement de tranchées présentant différents ratio largeur/profondeurs a également été étudié à l'aide de ces modèles (Zouhou et al., 2001).

Codépôt nickel/zinc

Le besoin de matériaux à propriétés spécifiques contrôlées couplé à une diminution des coûts d'élaboration est à l'origine d'une hausse des codépôts d'alliage par électrochimie. Souvent un tel procédé est fort différent du dépôt de chaque composé considéré séparément. Ici, nous nous sommes plus particulièrement intéressés au codépôt de zinc/nickel.

Les alliages zinc-nickel sont réputés pour une protection anticorrosion sacrificielle optimale de l'acier. Leur résistance à la corrosion dépend principalement de leur teneur en nickel. Maîtriser la teneur en nickel, nécessite la compréhension des mécanismes de codéposition de ces alliages. L'électrodéposition des alliages zinc-nickel est connue comme étant souvent anormale. Selon l'étude expérimentale réalisée (thèse K.

niques using hydroxyl ion in-situ generated. These studies allowed the establishment of models allowing at the same time the design of such equipment and ensuring their control (Hunsom et al., 2005; Teeratananon et al., 2004).

1.3 Deposits

This research can be declined according to their application field. The first relates to the deposition for microelectronic industry whereas the second is more interested in the study of alloy deposition

Deposit for microelectronic industry

The increasingly miniaturization and the increase of request of the micro-electronics components are at the origin of the emergence of new materials and new technologies of development. Copper and a liquid process for deposit were retained for economic reasons. The electroless deposition was chosen due to the fact that it leads to naturally uniform deposits. In order to increase the knowledge and the control of this process, we were interested in the study of the process of deposit. Small quantity of information available, as well as the lack of coherence of those, led us to initially study the mechanisms of the two partial half-reactions of the process. Experimental results of the detailed kinetic study were used to determine the various kinetic parameters of the electrokinetic laws, necessary to the development of a model in charge of the prediction of the growth of the copper layer (PhD A. Zouhou 2002). We were also interested in modelling this type of deposit for two extreme configurations (PhD M. Chikh Djaouti 2003). The first case corresponds to mass transfer occurring only by diffusion whereas, for the second case, convective-diffusive transport is taken into account. The confrontation of the theoretical and experimental results made it possible to validate various models, filling of trenches presenting different ratios aspect (width/depth) were also studied using these models (Zouhou et al., 2001).

Nickel/zinc alloy

The need for materials with specific properties linked with costs reduction is at the origin of a rise of the alloy deposition by electrochemistry. Often such a process differs from the deposit of each compound considered alone. Here, we are more particularly interested in the zinc/nickel alloy deposition. Zinc-nickel alloys are famous for optimal steel sacrificial anti-corrosive protection. Their corrosion resistance depends mainly on their nickel content. The nickel content control requires the understanding of the mechanisms of co-deposition of these alloys. The electrodeposition of the zinc-nickel alloys is known as being often abnormal. According to the experimental study carried out (PhD K. Saïdi), we showed that for various operating conditions (bath metal ions content,

Saïdi, 2004), nous avons montré que pour différentes conditions opératoires (teneur du bain en ions métalliques, sel support, pH, température et densité de courant appliquée) l'effet catalytique qu'exerce le nickel sur le zinc, en raison des affinités électroniques existants entre ces deux métaux à l'interface, permet la réduction du zinc en sous potentiel. D'autre part, pour des potentiels plus négatifs que celui d'équilibre du zinc, la composition d'un revêtement Zn-Ni ne dépend pas uniquement des conditions opératoires, mais aussi du substrat lors d'un régime transitoire. Un modèle permettant de relier la composition du revêtement Zn-Ni aux conditions opératoires d'élaboration a été proposé afin de maîtriser la teneur du dépôt en nickel et répondre ainsi aux exigences des industriels (Thèse M. Teeratananon 2004, Cotutelle Université Chulalongkorn-Bangkok) (Teeratananon et al., 2004).

I.4 Caractérisation de molécules actives

Ce thème de recherche mené en collaboration avec le LSPCMIB UMR5068 (UPS) a consisté à étudier des molécules endoperoxydiques (analogues de l'artémisinine), dont le comportement électrochimique cathodique a été abordé par voltammétrie à balayage rapide de 1 à 150V/s (Najjar et al., 2003 ; Najjar et al., 2004). L'application de la théorie de Marcus, couplée à des calculs ab-initio a permis d'avancer dans la compréhension de leur mode d'action vis-à-vis du parasite de la malaria. Pour la première fois (thèse de F. Najjar, 2005), il a été mis en évidence une compétition entre deux mécanismes pour la rupture de la liaison peroxyde : le mécanisme concerté et le mécanisme séquentiel. L'analyse des résultats a donné accès aux paramètres physico-chimiques (énergie de liaison, potentiel standard, nombre d'électrons, constantes de vitesse,...) permettant le classement et par conséquent, la sélection de ces molécules sur la base de leur activité.

I.5 Modélisation

Une simulation numérique des réacteurs électrochimiques est menée à différentes échelles (microscopique et macroscopique) pour obtenir des profils de concentration ainsi que la distribution du champ électrique au sein des réacteurs. D'une part, les méthodes numériques sont utilisées pour optimiser des synthèses spécifiques comme lors de l'électro-oxydation enzymatique indirecte en microréacteur pour lequel sont pris en compte les couplages des phénomènes hydrodynamiques, du transport de matière et de la catalyse chimique, enzymatique et électrochimique. Les résultats sont validés par les expérimentations (C. Kane, thèse initiée en 2003). De même, lors de la réduction électrochimique des esters de la méthyl-pyridine dans un réacteur filtre-presse qui passe par la réduction successive de plusieurs intermédiaires. La cinétique des diverses étapes a été modélisée. L'ajustement des données expérimentales permet de calculer les constantes de transfert de charge des espèces électroréductibles ; les conditions nécessaires à un rendement > 80% du produit souhaité (2-hydroxyméthylpyridine) sont déterminées. D'autre part, l'analyse du couplage de la production des radicaux OH° sur électrode de diamant avec la diffusion-convection est en cours de développement pour mieux comprendre le mécanisme de dégradation des molécules organiques en solution.

background electrolyte, pH, temperature and current density applied); the catalytic effect that nickel exerts on zinc due to electronic affinities existing between these two metals at the interface, allows on one hand to the under potential reduction of zinc in, and, on the other hand, for potentials more negative than that of zinc equilibrium potential, the composition of the Zn-Ni coating does not depend solely on the operating conditions, but also of the substrate during a unsteady state. A model (Thesis Manida Teeratananon, 2004, Cotutelle Université Chulalongkorn, Bangkok) linking the composition of the Zn-Ni layer with the operating conditions was proposed in order to better control the nickel content of the deposit of and to thus fulfil the industrial requirements. (Teeratananon et al., 2004)

1.4 Characterisation of active molecules

Another research, led in collaboration with LSPCMIB, UMR 5068, UPS, consists to fundamental electrochemical studies of endoperoxidic molecules, analogous of the artemisinin, some of which have antipaludic activity. Cyclic voltammetry at potential scan sweep in the range of 50 V/s to 500V/s, permit to study the mechanism of their reduction; for the first time in the case of these endoperoxydes, we demonstrate that both concerted and stepwise mechanisms, govern the overall rate of the dissociation of the endoperoxidic bond (Najjar et al., 2003; Najjar et al., 2004). Application of the Marcus theory, coupled to ab-initio calculations, allows determining physico-chemicals parameters (Bond Energy, standard potential, ...) making possible classification and consequently, the selection of these molecules on the basis of their activity against malaria (thesis of F. Najjar, 2004).

1.5 Modelling

Modelling of the electrochemical cells is carried out at various scales (microscopic and macroscopic) in order to obtain concentration profiles as well as the electric field distribution within these reactors. Let us recall briefly some aspects of this activity.

Numerical methods were used to optimize specific syntheses by indirect enzymatic electro-oxidation in a microreactor where the couplings of the hydrodynamic phenomena, the mass transport and the chemical catalysis (enzymatic and electrochemical) were taken into account. The results were validated by the experiments (C Kane, PhD in progress).

The kinetics of the successive steps of the electrochemical reduction of esters of methylpyridine in a filter press reactor was modelled. The adjustment of the experimental data made it possible to calculate the constants of charge transfer of the electro-reducible species. The conditions to reach a yield of 80% of the desired product (2-hydroxymethylpyridine) were given.

Par ailleurs, des travaux ont été menés pour adapter un logiciel commercial de CFD (Computational Fluid Dynamic) afin de proposer un modèle générique des réacteurs électrochimiques prenant en compte les équations régissant la cinétique électrochimique et l'hydrodynamique. Un gros effort d'analyse théorique a été consenti pour décrire les distributions de courant prenant en compte les surtensions d'activation et de concentration ainsi que le transfert de matière par convection, diffusion et migration (Thèse F. Dupuy, 2003). Le modèle développé constitue alors un outil particulièrement performant et convivial pour la mise au point d'un procédé électrochimique et en particulier pour le design et l'optimisation du fonctionnement de l'équipement (contrat avec la société Atotech, Allemagne) (Dupuy et al., 2003).

2 Electrochimie des Milieux à hautes températures

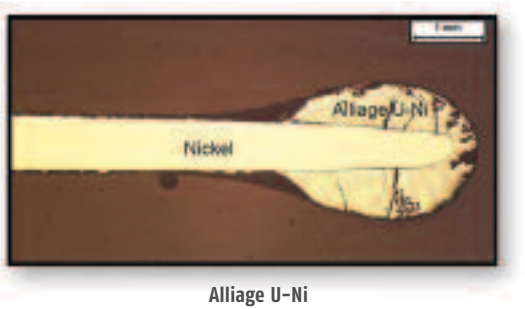
P. Chamelot, L. Massot, P. Taxil

Cette thématique est divisée en trois axes de recherche principaux :
- La préparation par électrolyse de revêtements protecteurs de métaux ou d'alliages pour divers secteurs industriels tels que l'industrie nucléaire ou le biomédical. C'était sa vocation initiale, fondée sur un savoir faire reconnu en matière de réduction électrochimique.
- L'énergie nucléaire avec le retraitement imposé par la loi des effluents des réacteurs nucléaires et la nouvelle génération de réacteurs nucléaires qui comprend le modèle RSF (Réacteur Sels Fondus).
- L'élaboration de l'Aluminium par le procédé Hall-Heroult qui doit faire face à des contraintes technologiques et environnementales sur la formulation des matériaux d'électrodes.

Citons aussi une dernière thématique commençante mais prometteuse : l'utilisation des liquides ioniques, sels fondus basse température pour la réalisation de dépôts d'alliage.

2.1 Revêtements électrolytiques de métaux et d'alliages

Le dépôt de métaux réfractaires, tels que le tantale et le niobium, par réduction électrochimique en sels fondus d'ions de ces métaux sur des substrats usuels est bien maîtrisé par notre équipe depuis de nombreuses années ; ces dépôts, extrêmement résistants à tous types de corrosion, sont utilisés dans les installations industrielles pour la protection d'appareillages ou pour l'élaboration de matériaux spécifiques, tels que les substrats d'électrodes DSA O_2, des supports



Alliage U-Ni

The physicochemical analysis of the production of radicals OH° and their reaction with molecules in solution is in progress.
In addition, studies were carried out to adapt a CFD (Computational Fluid Dynamic) commercial software in order to propose a generic model of the electrochemical cells taking into account equations governing electrochemical kinetics and hydrodynamics. The current distributions were described taking into account activation and concentration overpotentials as well as the mass transfer by convection, diffusion and migration (F. Dupuy, PhD 2003). The developed model constitutes a powerful and versatile tool for the development of an electrochemical process in terms of design and optimization (contract with Atotech company, Germany) (Dupuy et al., 2003).

2 Electrochemistry in molten salts

P. Chamelot, L. Massot, P. Taxil

The team "Electrochemistry in molten salts" in the Laboratory of Chemical Engineering intervenes in three research axis:
- The preparation of protecting coatings of metals or alloys by molten salts electrolysis for several industrial applications such as nuclear industry or biomedical. It was its initial vocation, founded on an acknowledge capability on the electrochemical reduction of refractory metals in molten salts.
- The nuclear energy with the reprocessing of spent fuel lay down by the law on the nuclear reactors effluents and rising generation of nuclear engines which includes MSR model (Molten Salts Reactor).
- The elaboration of Aluminium by the Hall-Heroult process which must now answer to the technological and environmental constraints on the formulation of materials of electrodes.

These three topics are supported by industrial contracts, CNRS programs, and led to the defence of 3 phD thesis and the reception of 3 researchers (phD student, post doctoral and senior researcher). Let us quote also a last starting but promising set of topics: the use of the ionic liquids (low temperature molten salts) for the realization of alloy deposits.

pour le dépôt de diamant ou des revêtements biocompatibles pour des prothèses chirurgicales. Une collaboration avec l'industrie nucléaire (CEA site Pierrelatte) a permis l'étude de la réalisation de revêtements de carbures de tantale (TaC, Ta_2C) sur des substrats usuels par électrolyse à 700 - 900°C dans les fluorures fondus (thèse de L. Massot 2002). Trois méthodes ont été utilisées : (i) le dépôt de carbone sur un dépôt de tantale microstructuré avec une interdiffusion des deux dépôts pour former du TaC, (ii) le dépôt réactif de tantale sur un substrat carboné avec une diffusion du tantale au sein de la matrice de carbone avec formation de Ta_2C, (iii) la co-déposition de tantale et de carbone par réduction simultanée d'ions tantale et d'ions carbonate. Cette dernière méthode nécessite l'utilisation d'une très forte pression en CO_2 afin de stabiliser les ions carbonate en solution et de permettre l'obtention de dépôts épais de carbure de tantale (Massot et al., 2002 ; Massot et al., 2003).

Cette méthodologie a également été appliquée à l'obtention de carbure de niobium (NbC et Nb_2C) dans les mêmes conditions.

2.2 Energie Nucléaire

Le retraitement du combustible est une obligation pour tout type de réacteur nucléaire (loi Bataille de 1991) ; il consiste à récupérer le combustible nucléaire (actinides) en le séparant des produits de fission (lanthanides) ; la voie pyrochimique utilisant les sels fondus est privilégiée pour le retraitement par méthodes chimique (précipitation sélective d'oxydes) ou électrolytique (dépôt sélectif des métaux ou de leurs alliages). Nos activités dans ce domaine sont réalisées en partenariat avec le CEA Valrho, EDF (centre des Renardières) et le CNRS (GDR PARIS). La stratégie consiste à rechercher, à partir d'études thermodynamiques et électrochimiques couplées, les conditions expérimentales idéales (solvant, matériau cathodique) pour extraire par électrolyse réductrice d'abord les actinides (An), puis d'éliminer les lanthanides (Ln) (Massot et al., 2005). Elle est appliquée dans la thèse de C. Hamel (2005), réalisée dans des milieux fluorés, avec les couples U(An)/Nd(Ln) et Pu(An)/Nd. Cette thèse a ouvert la voie prometteuse d'une récupération sur cathode réactive (Nickel) de ces éléments sous forme d'alliages, facilitée, par rapport au dépôt massif, sur le plan thermodynamique, cinétique et la possibilité d'obtention de dépôts liquides (Hamel et al., 2004).

Parmi les réacteurs nucléaires de Génération IV, le CNRS soutient le développement des Réacteurs Sels Fondus (RSF) au thorium, avec comme combustible une solution de ThF_4 dans les fluorures fondus.

La thèse de C. Nourry, (début : 2004), financée par la région sur des fonds européens et soutenue par un PCR du CNRS dans le cadre du programme PACE, s'effectue dans ce cadre ; elle concerne la séparation du thorium et du néodyme en sortie de réacteur dans l'objectif d'un retraitement en ligne (réalisation d'une " boucle réactive ") et elle s'appuie sur le concept d'élimination du néodyme sous forme d'alliage liquide.

2.1 Metals or alloys electrolytic coatings

The coating of refractory metals, such as tantalum and niobium, by electrochemical reduction in molten salts on usual substrates is fully developed by our team for long years; these deposits, extremely resistant to aggressive media, are used in industrial set up for engines protection or for elaborating specific materials for high technology applications, such as electrodes materials for DSA 0_2, substrate for diamond coatings or for biocompatible coatings onto surgical instruments. A previous collaboration with nuclear industry (CEA Pierrelatte) was dedicated to study the elaboration of coatings made of tantalum carbides (TaC, Ta_2C) on usual substrates by electrolysis in the 700 - 900°C temperature range in molten fluorides (phD thesis of L. Massot 1999-2002). Three techniques were used: (i) carbon coating on microstructured tantalum coating with an interdiffusion of the two deposits to form TaC, (ii) reactive coating of tantalum on carbon substrate with the tantalum diffusion inside the carbon lattice with formation of Ta_2C, (iii) the codeposition of tantalum and carbon by simultaneous reduction of tantalum and carbonate ions. For this last method, the use of a very high CO_2 pressure is required to stabilize carbonate ions in solution and so to prepare thick tantalum carbide coatings (Massot et al., 2002; Massot et al., 2003).

This process can be also implemented for the elaboration of niobium carbide (NbC and Nb_2C) in the same experimental conditions.

2.2 Nuclear Energy

The spent fuel reprocessing is now laid down to an obligation for any nuclear reactor (french law "Bataille" of 1991); it consists of recovering nuclear fuel (actinides) after their separation from the fission products (lanthanides); the pyrochemical route, using molten salts technology, is privileged for the reprocessing by chemical methods (selective precipitation of oxides) or electrolytic (selective deposit of metals or their alloys).

Our activities in this domain are realised in collaboration with the CEA Valrho, EDF and the CNRS program PARIS. The strategy consists of searching, using thermodynamical and electrochemical methodology, the best operating conditions (in particular the solvent and cathodic substrate) to extract by electrolysis first the actinides (An) from the molten salts mixture, then to eliminate the lanthanides (Ln) (Massot et al., 2005). This approach was followed in the phD work of C. Hamel (2001 - 2005), realised in molten fluorides, with U(An)/Nd(Ln) et Pu(An)/Nd. This work highlighted a promising way of reprocessing on reactive cathode (Nickel) of the elements in the form of alloys, which is thermodynamically and kinetically easier, compared to metal coating, and which offer the possibility of production of liquid deposits (Hamel et al., 2004).

Among the nuclear reactors of Generation IV, the CNRS supports the development of the Molten Salts Reactor (MSR) thorium cycle, where the fuel is a solution of ThF_4 in molten

2.3 Anode pour la préparation de l'aluminium

Le procédé Hall-Heroult, seul utilisé à l'échelle industrielle pour la préparation de l'aluminium, est générateur de gaz à effet de serre dont en particulier le dioxyde de carbone et les perfluorocarbones (PFC). La réaction principale, sur laquelle est fondé le procédé, consiste en une décomposition électrolytique de l'alumine dans la cryolithe fondue à 960 °C. L'aluminium se forme à la cathode tandis que sur l'anode en carbone, la réaction produit du dioxyde de carbone gazeux. L'utilisation alternative d'une anode inerte permettrait de remplacer l'émission du CO_2 par O_2. La conception d'une telle anode a pour objectif d'éviter la consommation des anodes et de remplacer le dégagement de CO_2 par O_2 sans modification du processus d'obtention de l'aluminium.

La mise en œuvre d'un procédé à anode inerte présente donc un enjeu majeur dans l'optique de la réduction des émissions des gaz à effets de serre, principal objectif du protocole de Kyoto.

Un programme national de recherche dédié à l'élaboration de ce matériau d'anode inerte conducteur, résistant à la dégradation dans le milieu corrosif constitué par l'électrolyte ainsi que le dégagement d'oxygène a été engagé en 2001. La participation du laboratoire dans ce programme a conduit à la thèse de L. Cassayre (2005). Les travaux concernent l'étude des phénomènes de dégradation de différents matériaux soumis aux conditions d'électrolyse dans les mélanges cryolithiques, la mise au point d'une électrode de référence et la définition d'une composition idéale de matériau inerte dans les conditions de l'électrolyse. Ces résultats ont été obtenus par une démarche combinant les calculs thermochimiques, les techniques électrochimiques et les caractérisations chimiques et structurales (Cassayre et al., 2005). Un stage post-doctoral (V. Fascio 2004), un stage DEA (S. Tierce 2003) et l'accueil pour 4 mois d'un étudiant en thèse Slovaque (M. Kucharic 2005) ont été intégrés à ces travaux.

2.4 Dépôts d'alliages dans les liquides ioniques

Cette activité commençante est réalisée en coopération avec un chercheur de l'Institut de Chimie Inorganique de Kiev, O. Boïko. Des dépôts d'alliages Al-Ta ont été obtenus par électrolyse de solutions de ces métaux dans des mélanges de chlorures de Tetra Alkyl Ammonium et d'$AlCl_3$ qui appartiennent à la nouvelle génération de sels fondus à basse température, désignée par RTIL.

fluorides. The phD thesis of C. Nourry, (beginning: 2004), financed by European funds and supported by a PCR of CNRS within the framework of program PACE, is concerned the separation of thorium and neodymium at the exit of the reactor; the objective is on line reprocessing and it is based on the concept of elimination of neodymium in the form of liquid alloy.

2.3 Anode aluminium preparation

The Hall-Heroult process, only one used on an industrial scale for the preparation of aluminium, is generator of polluting gas, in particular the carbon dioxide and perfluorocarbons (PFC). The principal reaction, on which the process is based, consists of an electrolytic decomposition of alumina in molten cryolite at 960 °C.

Aluminium is formed at the cathode while on the carbon anode, the reaction produces carbon dioxide. The alternative use of an inert anode would make it possible to replace the emission of CO_2 by O_2.

The design of such an anode aims to avoid the consumption of the anodes and to replace the CO_2 by O_2 without significant change of the process of obtaining aluminium. The setting up of a process with inert anode thus presents a major stake in the optics of the reduction of the emissions of gases with greenhouse effects; that is one objective of the Kyoto's protocol.

A national research program dedicated to the formulation of this inert anode material conducting, resistant to degradation regarding to the corrosive medium (the electrolyte) as well as the oxygen release was engaged in 2001. The participation of the laboratory in this program led to the phD thesis of L. Cassayre (2002-2005).

This work concerned the study of the degradation phenomena of various materials submitted to the conditions of electrolysis in the cryolitic mixtures, the development of a reference electrode and the definition of an ideal composition of inert material under the conditions of electrolysis. The obtained results were obtained by combining thermochemical calculations, electrochemical techniques and chemical and structural characterizations (Cassayre et al., 2005).

A post-doctoral position (V. Fascio 2004), a master thesis (S. Tierce 2003) and the working period for 4 month of a Slovakian phD student (M. Kucharic 2005) have participated to this work.

2.3 Alloys coatings in ionic liquids

This starting activity is carried out in cooperation with a researcher of Inorganic Institute of Chemistry of Kiev, O. Boïko. Deposits of Al-Ta alloy were obtained by electrolysis of

DÉPARTEMENT PEM

3 Capteurs electrochimiques et procédés

M. Comtat, H. Durliat, P. Gros

Les exigences de plus en plus marquées, souvent légitimes, des consommateurs pour disposer de produits aux caractéristiques parfaitement définies, contraignent les industriels à faire un effort accru dans les domaines du contrôle et de la qualité. La conséquence est le développement de méthodes analytiques destinées au suivi des procédés de fabrication et à la qualification des produits.

Le travail réalisé sur le thème Capteurs Electrochimiques et Procédés se place dans cette logique. Il porte sur la mise au point ou l'adaptation de méthodes électrochimiques d'analyse en dermocosmétique, en biologie cutanée et en œnologie. Ces thèmes de recherche ont fait l'objet de quatre thèses soutenues par quatre contrats industriels incluant le financement de deux bourses de thèse. Ils utilisent des techniques et des appareillages communs, notamment la potentiométrie à intensité nulle, les titrages potentiométriques et les méthodes de l'électrochimie dynamique (stationnaires, transitoires et en couche mince). Les analyses sont pratiquées directement sur les milieux complexes que sont les crèmes dermocosmétiques, la peau et les vins. Un des objectifs communs est de mieux comprendre le rôle de l'oxygène sur l'évolution de la qualité des produits et le vieillissement des milieux.

3.1 Contrôle de la fabrication des crèmes dermocosmétiques

Le travail porte sur l'adaptation de méthodes électrochimiques d'analyse pour le contrôle de la qualité de crèmes dermocosmétiques, pour l'aide à l'optimisation de la formulation de ces produits et pour l'étude de leur évolution sous l'effet de l'oxygène et de la lumière (thèse de C. Guitton initiée en 2002).
Les crèmes sont des milieux biphasiques qui peuvent renfermer plusieurs dizaines de composés ajoutés en raison de leurs propriétés antioxydantes, bactéricides, olfactives, de façon à obtenir un produit à l'aspect attrayant (couleur, texture, odeur) et efficace dans la préservation de l'intégrité de la peau soumise à des oxydations ou à des irradiations lumineuses.

Une cellule électrochimique a été adaptée afin de réaliser des mesures in situ dans la crème sans ajout d'électrolyte support. Dans un premier temps, l'étude a porté sur une vingtaine de crèmes commercialisées, caractérisées, du point de vue de l'oxydo-réduction, sur des électrodes de matériaux divers. Le signal électrochimique obtenu en oxydation est corrélé aux propriétés antioxydantes de la crème (Guitton et al., 2005). Dans un deuxième temps, la fabrication au laboratoire de crèmes de compositions variables et de complexité croissante a permis l'identification des produits responsables de ces propriétés. L'étude par voltammétrie cyclique de l'évolution de la capacité antioxydante globale au cours du temps, sous l'effet de l'oxygène et de la lumière, renseigne sur la stabilité du produit fini et sur le rôle des molécules dans cette stabilité.

solutions of these metals in mixtures of Tetra Alkyl Ammonium chlorides and AlCl3 which belong to rising generation of molten salts at low temperature, indicated by RTIL (Room Temperature Ionic Liquids).

3 Electrochemical sensors and processes

M. Comtat, H. Durliat, P. Gros

The increasingly marked requirements, often legitimate, of the consumers to have products with the perfectly definite characteristics, force the industrialists to make an effort increased in the fields of control and quality. The consequence is the development of analytical methods intended for the follow-up of the manufacturing processes and the qualification of the products.
The work performed in the Electrochemical Sensors and Processes theme is placed in this logic. It relates to the development or the adaptation of electrochemical methods of analysis into dermocosmetic, cutaneous biology and oenology. These research topics were the subject of four theses supported by four industrial contracts including the total financing of two theses. They use common techniques and equipment, in particular the potentiometry with zero current intensity, potentiometric titrations and the methods of dynamic electrochemistry (stationary, transitory and in thin layer). The analyses are practised directly on the complex mediums which are the dermocosmetic creams, the skin and the wines. One of the common objectives is to understand the role of oxygen on the evolution of the quality of the products and the ageing of the mediums.

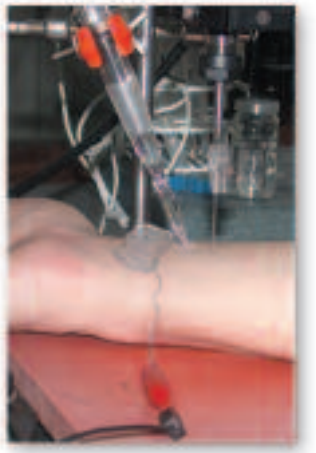
3.1 Control of fabrication of dermocosmetic creams

The work concerns the adaptation of electrochemical methods of analysis for the quality control of dermocosmetic creams, for the assistance in the optimization of the formulation of these products and for the study of their evolution under the effect of oxygen and light (C. Guitton PhD initiated in 2002).
The creams are biphasic mediums which can contain several tens of molecules added because of their antioxidant, bactericidal, olfactory properties, in order to obtain a product with an attractive aspect (colour, texture, smell) and effective in the safeguarding of the integrity of the skin exposed to oxidations or luminous irradiations.
An electrochemical cell was adapted in order to carry out in situ measurements in the cream without addition of support electrolyte.
Initially, the study related to a score of marketed creams, characterized, from the point

3.2 Etude des propriétés oxydo-réductrices de la peau

L'objectif poursuivi est de mieux comprendre les mécanismes d'oxydo-réduction intervenant dans la biologie cutanée, de proposer un dispositif analytique qui donne au dermatologue une aide au diagnostic et au choix du traitement (thèse de A. Ruffien-Ciszak initiée en 2002).

La peau est continuellement exposée à des agents oxydants extérieurs tels que l'ozone, les radiations UV ou la pollution chimique... Ces stress oxydants sont responsables de la production excessive et de l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène, elles-mêmes à l'origine de l'oxydation des molécules biologiques (acides nucléiques, lipides, protéines). L'exposition chronique aux facteurs oxydants induit un vieillissement prématuré du tissu cutané et peut même être à l'origine de processus de transformations (dysplasies et cancers cutanés).La peau assure sa protection par l'action de molécules antioxydantes et d'enzymes qui catalysent les réactions de dégradation des radicaux.



Mesure électrochimique directe et non invasive à la surface de l'épiderme

Direct and no invasive electochemical measure on epidermis surface

Un dispositif électrochimique non invasif reposant sur l'emploi de microélectrodes de platine, d'or ou de tungstène, permet de réaliser des mesures à haute résolution spatio-temporelle directement sur la peau, sans addition de solution électrolytique ni de gel (Gros et al., brevet, 2002). Il permet également de mettre au point des mesures du pH et de la capacité antioxydante du stratum corneum (Ruffien-Ciszak et al., 2005). Quelques antioxydants présents dans la peau qui diffusent à travers le stratum corneum tels que l'acide ascorbique, l'acide urique, le glutathion et le coenzyme NADPH ont été identifiés et leur rôle mieux défini.

Cette méthode est actuellement utilisée sur de nombreux volontaires sains pour étudier la réponse de la peau en présence de diverses agressions génératrices d'espèces réactives de l'oxygène (en particulier les rayons UV) et la modulation de cette réponse en présence de topiques antioxydants.

3.3 Biocapteurs et métabolisme d'oxydo-réduction

Le projet concerne la mise au point d'un microbiocapteur électrochimique pour la détection du glucose cérébral *(DEA de E. Bonnet et stage de fin d'étude ENSEEG, 2004)*. En l'implantant directement dans le noyau arqué du cerveau de rat, ce capteur permet d'avoir une meilleure connaissance du mécanisme de " glucose sensing ". Ce mécanisme traduit un dysfonctionnement du système de détection de neurones hypothalamiques lors de certaines pathologies métaboliques (obésité, diabète). Le biocapteur est constitué d'une microélectrode de 100 µm de diamètre, dont la surface est modifiée par un polymère électroformé qui immobilise la glucose oxydase. Les travaux on été menés en collaboration avec le Laboratoire de

of view of oxido-reduction, on various material electrodes. The electrochemical signal obtained in oxidation is correlated with the antioxidant properties of the cream (Guitton et al., 2005).
In the second time, manufacture at the laboratory of creams of variable compositions and increasing complexity allowed the identification of the products responsible for these properties.
The study by cyclic voltammetry of the evolution of the total antioxidant capacity in the course of time, under the effect of oxygen and the light, informs about the stability of the finished product and the role of the molecules responsible for this stability (Guitton et al., 2005).

3.2 Study of skin redox properties

The aim is to better understand the mechanisms of oxido-reduction intervening in cutaneous biology, to propose an analytical device which gives to the dermatologist a help with the diagnosis and the choice of the treatment (A. Ruffien-Ciszak PhD initiated in 2002).
The skin is continuously exposed to external oxidising agents such as ozone, radiations UV or chemical pollution... These oxidative stress are responsible for the excessive production and the accumulation of reactive oxygen species, themselves at the origin of the biological molecules oxidation (nucleic acids, lipids, proteins).
The chronic exposure to the oxidizing factors induces a premature aging of cutaneous tissue and can even be at the origin of process of transformations (cutaneous dysplasies and cancers). The skin ensures its protection by the action of antioxidant molecules and enzymes which catalyse the reactions of degradation of the radicals.
A non invasive electrochemical device based on the use of platinum, gold or tungsten microelectrodes makes it possible to carry out measurements with high space-time resolution directly on the skin, without use of electrolytic solution or gel (Gros et al., brevet, 2002). It also makes it possible to develop measurements of the pH and of antioxidant capacity of the stratum corneum (Ruffien-Ciszak et al., 2005). Some antioxidants present in the skin and diffusing through the stratum corneum such as ascorbic acid, uric acid, glutathion and coenzyme NADPH have been identified and their role better understood.
This method is currently used on many healthy volunteers to study the response of the skin in the presence of various generating aggressions of reactive species of oxygen (in particular UV) and the modulation of this response in the presence of antioxidant topics.

Neurobiologie, Plasticité Tissulaire et Métabolisme Energétique UMR CNRS 5018 de l'hôpital Rangueil de Toulouse. Ils ont permis d'élaborer le microbiocapteur à glucose, de déterminer ses performances analytiques in vitro et de suivre l'évolution du glucose in vivo au cours du temps dans le noyau arqué de rats. Les premiers résultats ont permis de mettre en évidence des variations de concentration du glucose cérébral de manière directe et en temps réel, conférant ainsi à la mesure une meilleure résolution spatio-temporelle.

3.4 Résistance à l'oxydation des vins et traitement des moûts

Les pratiques œnologiques pour l'élevage des vins sont en pleine mutation car 95% de la production mondiale sont élevés en cuves étanches. Pour se rapprocher des méthodes traditionnelles d'élevage des vins en barriques, il est nécessaire de mettre au point des procédés de microoxygénation et des techniques raisonnées d'apport de molécules constitutives du bois. Le contrôle de ces opérations est actuellement fait par dégustation. Le monde de l'œnologie est à la recherche de méthodes aptes à fournir des indices globaux et quantitatifs qui permettent de juger de l'aptitude d'un vin à recevoir des doses données d'oxygène et de molécules constitutives du bois.

Un premier travail a consisté à réaliser de très nombreux titrages potentiométriques à intensité nulle de vins par des solutions de réducteurs et d'oxydants pour évaluer la résistance à l'oxydation d'un vin. Contrairement à une idée répandue dans le monde de l'œnologie, ce type de méthode ne semble pas adapté pour atteindre l'objectif fixé.

Il s'en est suivi un deuxième travail portant sur l'adaptation de méthodes de l'électrochimie dynamique pour l'identification de quelques molécules du vin responsables du pouvoir antioxydant (Castaignède et al., 2003). La chronoampérométrie à potentiel constant, réalisée sur un échantillon dilué de vin, dans lequel on introduit une quantité donnée d'un médiateur d'oxydo-réduction, permet de distinguer le cépage et l'âge. Un modèle simple donne deux paramètres utiles pour la conduite de l'opération de microoxygénation.

En œnologie, on assiste à l'emploi de nouveaux matériaux métalliques pour la réalisation des opérations de traitement des moûts et des vins. C'est le cas de grilles préalablement ensemencées pour la cristallisation du bitartrate de potassium dans la stabilisation tartrique des vins par la technique des pièges froids, ou de média filtrants pour la clarification des moûts. La conduction électronique de ces matériaux permet la mise en œuvre de méthodes électrochimiques. La modulation du potentiel électrique relatif métal-solution modifie la tension interfaciale et augmente la vitesse et le rendement de cristallisation. Dans le cas de la filtration par un média filtrant enchâssé entre deux grilles métalliques, l'emploi d'un champ électrique de faible amplitude augmente les flux de filtration et provoque une meilleure déshydratation du gâteau de filtration.

3.3 Biosensors and oxydoreduction metabolism

The project relates to the development of an electrochemical microbiosensor for the detection of cerebral glucose (DEA E. Bonnet, training course O. Lacroix, 2004).
By direct measurement in the brain of rat, this sensor makes it possible to have a better knowledge of "glucose sensing" mechanism. This mechanism shows a dysfunction of the system of detection of hypothalamic neurons in certain metabolic pathologies (obesity, diabetes). The biosensor consists of a microelectrode of 100 µm diameter, whose surface is modified by an electroformed polymer including glucose oxydase. The work was undertaken in collaboration with the Laboratoire de Neurobiologie, Plasticité Tissulaire et Métabolisme Energétique UMR CNRS 5018 (Rangueil, Toulouse). It was possible with the microbiosensor to determine glucose and to follow evolution of its concentration with time in the arched core of rats, thus conferring to measurement a better space-time resolution.

3.4 Resistance to the oxidation of wines and musts treatments

The oenological processes for wine aging are in full change because 95% of the world production is high out of tight tanks. To approach the traditional methods of wine aging in barrels, it is necessary to develop microoxygenation processes and reasoned techniques of addition of wood constitutive molecules. The control of these operations is currently made by tasting. The world of oenology is in the search of methods ready to provide total and quantitative indices which make it possible to judge aptitude of a wine to receive given amounts of oxygen and wood constitutive molecules.
The first work consisted in carrying out many potentiometric titrations with zero current intensity by solutions of reductants or oxidants to evaluate the oxidation resistance of a wine. Contrary to an idea spread in the world of oenology, this kind of method does not seem adapted to achieve the goal.
The second work deals with the adaptation of dynamic electrochemistry methods for the identification of some molecules of the wine responsible for the antioxidant capacity (Castaignède et al., 2003). Chronoamperometry with constant potential, realized on a diluted wine sample, into which one introduces a given quantity of oxido-reduction mediator, makes it possible to distinguish type of vine and the age. A simple model gives two useful parameters for the control of the operation of microoxygenation.
One attend in oenology the use of new metallic materials like the grids for the crystallization of potassium bitartrate in the tartaric stabilization of the wines by the technique of the cold trap or like filters for the clarification of musts. The electronic conduction of these materials allows the implementation of electrochemical methods. The modulation of the relative electric potential between metal and solution modifies the interfa-

3.5 Colonne d'eau et sources hydrothermales océaniques

En collaboration avec l'Observatoire de Midi-Pyrénées, une recherche est en cours sur l'analyse par voie électrochimique d'ions nitrate, phosphate et silicate, dans la colonne d'eau océanique (jusqu'à 1000 mètres de profondeur), des ions sulfure et de quelques composé métalliques comme le fer et le tungstène, à proximité de cheminées hydrothermales océaniques (thèse de M. Lacombe initiée en 2004).
Les résultats obtenus en laboratoire au cours des six premiers mois d'une thèse sont suffisamment encourageants pour envisager l'adaptation des méthodes au milieu naturel, en collaboration avec IFREMER.

4 Interfaces matériaux conducteurs/systèmes biologiques

R. Basséguy, A. Bergel en collaboration avec Marie-Line Délia (département RMS)

Les activités sur ce thème ont largement évolué ces quatre dernières années, de l'intégration des interfaces électrodes/enzymes pour les procédés d'électrosynthèse, à l'ingénierie des biofilms appliquée à la biocorrosion, la conception de capteurs et de biopiles à combustible.

4.1 Réacteurs électro-enzymatiques

Les nombreuses années de recherche effectuées sur les interfaces électrodes/oxydoréductases ont conduit à une technologie innovante protégée par un brevet international (EDF Les Renardières, 2002). La thématique s'est développée au sein du programme européen "ElectroChemical Enzymes" (5ème PCRDT, 2001-04), coordonné par BASF Ludwigshafen (Allemagne). Ce programme portait sur la mise en oeuvre par électrochimie de cytochromes P450 pour l'hydroxylation d'octane et l'époxydation de styrène (thèse A.Pardo, 2004) (Délécouls-Servat et al., 2004 ; Gros et al., 2005).
La montée en puissance de cette thématique, concrétisée par des invitations de collaborations internationales (Pr. C.Wandrey, Université de Jülich, Pr. S.H. Moon, Gwanju Institute of Science et Technology, Corée) n'a pu être soutenue en parallèle aux autres activités entreprises par l'équipe. La décision a donc été prise de stopper pour l'instant ce secteur de recherche.

cial tension and increases the rate and the mass balance for crystallization. In the case of filtration by one filter enchased between two metal grids, the use of an electric field of low amplitude increases flows of filtration and causes a better dehydration of the cake of filtration.

3.5 Oceanic water column and hydrothermal vents

In collaboration with the Observatory of the Midi Pyrénées, a research is in hand on the analysis by electrochemical way of ions nitrate, phosphate and silicate, in the oceanic water column (up to 1000 meters of depth) of the sulphide anions and some metallic compounds like iron and tungsten, near oceanic hydrothermal chimneys (M. Lacombe PhD initiated in 2004).
The results obtained in laboratory during the first six months of a thesis are sufficiently encouraging to consider the adaptation of the methods to the natural environment in collaboration with IFREMER.

4 Interfaces conducting materials/biological systems

R. Basséguy, A. Bergel with Marie-Line Délia (department RMS)

The activities on this topic largely evolved these four last years, from the integration of the interfaces "electrodes/enzymes" into electro-synthesis reactors, to biofilm engineering applied to biocorrosion and the design of sensors and biofuel cells.

4.1 Electro-enzymatic reactors

Years of research carried out on the interfaces "electrodes / oxidoreductases" led to an innovating technology (international patent EDF Renardières, 2002). The topic has been developed within the European program "ElectroChemical Enzymes" (5th FP, 2001-04), coordinated by BASF Ludwigshafen (Germany). This program dealt with the electrochemical implementation of P450 cytochromes for octane hydroxylation and styrene epoxidation (A.Pardo thesis, 2004) (K. Délécouls-Servat et al., 2004 ; Gros et al., 2005).
Despite an increasing international recognition, which was concretized by several invitations (Pr. C.Wandrey, University of Jülich, Pr. S.H. Moon, Gwanju Institute of Science and Technology, Korea) this part of activities could not be sustained simultaneously with the other topics carried out by the team. The decision was thus made to stop for the moment this research topic.

DÉPARTEMENT PEM

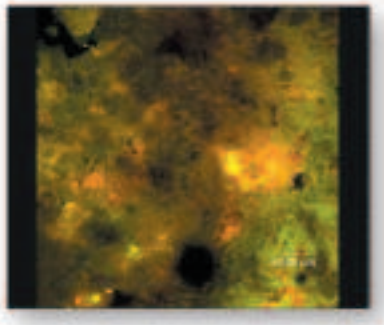
4.2 Biocorrosion

Dans ce domaine, abordé en étroite collaboration avec le CEA-Saclay et le CNR-ISMAR (Institut des Sciences Marines, Gênes, Italie), notre équipe est à l'origine d'avancées fondamentales majeures. Si les processus essentiels de la corrosion influencée par les micro-organismes, ou biocorrosion, semblent connus, aucun modèle ne permet toutefois de les reproduire en laboratoire ou de les prévoir sur le terrain. L'étude des mécanismes de la biocorrosion anaérobie des aciers au carbone a permis d'identifier le rôle d'initiateur de corrosion des enzymes hydrogénases et l'intervention, jamais suspectée auparavant, des ions phosphates et des acides faibles (thèse S. Da Silva, 2002, DEA L. De Silva Muñoz, 2004) (Lai et al., 2002 ; Da Silva et al., 2004). Cette découverte a conduit à proposer une technique innovante de phosphatation des aciers, mais elle devrait surtout déplacer l'axe des investigations futures sur la biocorrosion. Exploitée dans des conditions opératoires différentes, elle devrait conduire à des applications industrielles inattendues, qui sont en cours de protection en collaboration avec le CEA-Saclay.

Par ailleurs, une démarche d'analyse locale des interfaces matériaux/systèmes biologiques se met progressivement en place pour apporter une expertise des phénomènes de biocorrosion à l'échelle de quelques microns (ACI 2000 : 'SVET et biocorrosion', post-doc C.Jacques et stage AUF H. Iken 2004-2005)
En conclusion, cette thématique qui s'est développée au sein du réseau Brite Biocorrosion (1998-2002), a donné naissance à la proposition du REx SMESAFETYMILE, accepté par la communauté européenne, mais non soutenue financièrement. Ce demi-succès a conduit le département SPI à proposer à la DRI la constitution du groupement de recherche européen plus "Surface of Materials In Living Environments" (SMILE, 2005-07), dirigé par A.Bergel.

4.3 Ingénierie des biofilms

Les biofilms, formés à la surface des matériaux par les micro-organismes qui s'y déposent, créent des gradients intenses, de nombreux processus réactifs et de transfert couplés, et de fortes hétérogénéités spatiales. Leur étude exige des moyens multidisciplinaires considérables. Pour répondre à ce constat, notre équipe a intégré début 2003 l'équipe "génie des systèmes microbiens" du département RMS, et est à l'origine d'actions de structuration de la discipline au niveau régional (animation du programme " Biofilms " au sein de FERMaT, par M.-L.Délia) et national (direction du pôle de recherche national à implantation régionale, PNIR-Biofilms, par A.Bergel). D'un point de vue scientifique, la thématique se décline suivant deux objectifs :
- Comprendre les mécanismes fondamentaux des biofilms électro-actifs, soutenu par le programme européen " electro-actifs biofilms ", coordonné par A.Bergel (2004-07, thèse



Biofilm de Geobacter sulfurreducens sur électrode de carbone (LGC-IFR 40)

Geobacter sulfurreducens biofilm on carbon electrode (LGC-IFR 40)

4.2 Biocorrosion

In this domain of activities, carried out in close cooperation with CEA-Saclay and CNR-ISMAR (Institute of the Marine Science, Genoa, Italy), our team is at the origin of major fundamental advances. If the essential processes of microbial influenced corrosion (MIC or biocorrosion) seem to be known, no model makes it possible however to reproduce them in laboratory, or to assess the risk of biocorrosion in the field. The study of the mechanisms of the anaerobic biocorrosion of carbon steels led to identify the role of initiator of corrosion of the enzymes hydrogenases, and the involvement, which has never been foreseen before, of phosphate ions and weak acids (thesis S. Da Silva, 2002, DEA L. De Silva Muñoz, 2004) (Lai et al., 2002 ; Da Silva et al., 2004). This discovery resulted in proposing an innovating technique of steels protection by vivianite deposition, and it should give a new vision for future investigations on the biocorrosion. Implemented under different operating conditions, it should also lead to unexpected industrial applications, which are in the course of protection in collaboration with CEA-Saclay.
In addition, the local analysis of the interfaces materials / biological compounds is gradually set up to bring an expertise on biocorrosion at a few micron scale (ACI 2000 ' SVET and biocorrosion ', post-Doc. C.Jacques and training course AUF H. Iken 2004-2005)
In conclusion, this domain, which has been developed within the network Brite "Biocorrosion" (1998-2002), gave rise to the proposal of the NoE SMESAFETYMILE, which has been accepted by the European Community, but has not been supported financially. This semi-success led the department SPI to propose with the DRI the constitution of the European research group plus (ERG+) "Surface of materials in living environments" (SMILE, 2005-07), directed by A.Bergel.

4.3 Biofilm engineering

Biofilms, formed by the micro-organisms which settle on the surface of materials, create intense gradients, many local reactive processes, and strong space heterogeneities. Studying biofilms requires large multidisciplinary approaches. To answer this requirement, our team integrated at the beginning of 2003 the group "Microbial systems engineering" (department RMS), and it initiated structuring the domain at regional level (leadership of the programme "Biofilms" within FERMaT, M-L Délia), and national level (direction of the national research pole PNIR-Biofilms, A.Bergel). From a scientific point of view, the domain has been organised according

de S.Parot initiée en 2004). Ce programme, financé dans le cadre de l'appel à propositions " New and Emerging Science and Technology (NEST) " propose de déchiffrer les processus fondamentaux à la base de nouveaux types d'interactions électrochimiques récemment identifiés entre matériaux et micro-organismes ; toutes les informations diffusables sont disponibles sur le site " www.ea-biofilms.org ", coordonné par S.Schetrite.
- Concevoir des capteurs électrochimiques à biofilms : soit en faisant appel à des technologies de type microsystèmes, projet soutenu par le réseau d'innovation technologique eau (RIT-Eau) (2003-05, post-doc C.Jacques puis S.Dulon), soit avec des capteurs traditionnels, projet soutenu par le programme régional "Recyclage des eaux usées dans les industries: amélioration par limitation des biofilms et de leurs effets négatifs en canalisation d'eaux industrielles", dans le cadre du volet " biofilms " de FERMaT (Joannis-Cassan et al., 2005).

4.4 Biopiles à combustible

Les avancées dans la compréhension des phénomènes de la biocorrosion en milieu aérobie nous ont conduits à proposer l'utilisation d'enzymes ou de biofilms pour catalyser les réactions aux électrodes de piles à combustible hydrogène-oxygène (deux brevets en co-propriété CEA-CNRS déposés en 2002) (Bergel et al. 2004 ; Bergel et al., 2005).
Deux projets ont débuté en 2004, une ACI ECD 'BioPAC' abondé par un BQR INPT et un contrat avec le CEA-Saclay, tous deux pilotés par R.Basséguy, pour exploiter ces propriétés de biocatalyse qui pourraient, dans certains cas, proposer des alternatives à l'utilisation des catalyseurs au platine (thèse L. De Silva Muñoz, débutée en 2004, DEA M. Mehanna 2005). Un pilote de pile marine est actuellement en place dans le port de Gênes et donne déjà des résultats prometteurs. Pour développer des interfaces (acier inoxydable/biofilm) les plus efficaces possible, l'influence de la structure du matériau sur l'adhésion du biofilm sera étudiée (thèse de C. Dumas, débutée 2004). Une collaboration avec l'équipe CVD (B.Caussat, H.Vergnes) vise à déposer des nano-structures à la surface des électrodes en vue d'améliorer l'adhésion des biofilms.

to two objectives:
- understanding the fundamental mechanisms of electro-active biofilms, supported by the European program "Electro-active biofilms", coordinated by A.Bergel (2004-07, thesis of S.Parot initiated in 2004). This program, financed within the framework of the call to proposals "New and Emerging Science and Technology (NEST)" aims at investigating newly identified tracks to explain electrochemical interactions between materials and micro-organisms; all information that can be disseminated is available on the site "www.ea-biofilms.org", coordinated by S.Schetrite.
- designing electrochemical sensors for biofilm detection: either by implementing micro-technologies, project supported by the network of technological innovation (RIT) water (2003-05, post-Doc. C.Jacques then S.Dulon), or with traditional sensors, project supported by the regional program "Recycling of water in industries: improvement by limitation of the biofilms and their negative effects in industrial water pipeline ", within the framework of the federation FERMaT (Joannis-Cassan et al., 2005).

4.4 Biofuel cells

Advances in understanding the biocorrosion phenomena in aerobic medium led us to propose using enzymes or biofilms to catalyse the electrode reactions in hydrogen-oxygen fuel cells (two patents CEA-CNRS, 2002) (Bergel et al. 2004; Bergel et al., 2005).
Two programs started in 2004, the ACI ECD "BioPAC" supported by a BQR INPT, and a contract with CEA-Saclay, both led by R.Basséguy, with the goal to use biocatalyst that might, in some cases, become an effective alternative to platinum-based catalysts (thesis L. De Silva Muñoz, started in 2004, DEA M. Mehanna 2005). A pilot of marine fuel cell is currently in place in the harbour of Genoa, and gives already promising results. To develop efficient interfaces (stainless steel / biofilm), the influence of the surface structure of material on the adhesion of micro-organisms will be studied (thesis of C. Dumas, started 2004). Collaboration with the team CVD (B.Caussat, H.Vergnes) aims at inserting nano-structures on the surface of different electrode materials, with the view to improve the long-term biofilm adhesion.

DEPARTEMENT
Procédés et Systèmes Industriels (PSI)

1. ANALYSE FONCTIONNELLE DES PROCEDES
Computer aided process analysis

2. CONCEPTION, OPTIMISATION ET ORDONNANCEMENT DES PROCEDES
Process design, optimization and scheduling

3. GENIE INDUSTRIEL
Industrial systems engineering

Le Département **Procédés et Systèmes Industriels (PSI)** ou **Process Systems Engineering (PSE)**, selon le terme anglo-saxon consacré, regroupe les activités axées sur le développement de procédures systématiques pour la conception et l'exploitation de procédés et de systèmes, fonctionnant en mode continu ou discontinu, en régime permanent ou transitoire.

Une définition plus large du domaine s'appuie sur le concept de " **chaîne logistique chimique**" : l'activité PSI concerne l'amélioration du processus de prise de décision pour la conception et l'exploitation de procédés, en vue de l'élaboration et la distribution de produits, souvent dans un contexte à objectifs conflictuels

Cette démarche implique des recherches qui allient des échelles très différentes, du stade de la molécule pour la prédiction de propriétés physico-chimiques, à la modélisation d'opérations unitaires complexes, à un niveau encore plus global avec la conception optimale d'installations, et enfin au stade décisionnel de l'entreprise.

Toutes ces activités ont des conséquences à la fois théoriques et pratiques.

D'un point de vue théorique, les travaux menés consistent à développer des stratégies de résolution intégrée pour améliorer la viabilité des procédés et démontrer leur faisabilité industrielle. Dans ce contexte, ils mettent en jeu des procédures numériques performantes et des environnements de modélisation adaptés.

Les recherches sont donc ciblées vers le développement de méthodologies, l'implémentation de prototypes et la démonstration de l'efficacité de ces outils sur des problèmes industriels majeurs. Un des thèmes phares concerne l'intégration des applications et des outils : réaliser une synergie entre les niveaux application/décision et améliorer l'efficacité de la résolution par une combinaison efficace de différentes méthodologies.

D'un point de vue pratique, l'enjeu économique est majeur dans la mesure où les marchés, soumis à une forte concurrence, deviennent de plus en plus versatiles et évolutifs, exigent des temps de réponse de plus en plus courts et, donc, des méthodes et outils toujours plus performants pour orienter les décisions.

Les axes de recherche se déclinent en trois thèmes, qui se positionnent à des niveaux différents de la chaîne logistique :

- Analyse fonctionnelle des procédés ;
- Conception, optimisation et ordonnancement des procédés ;
- Génie Industriel.

DEPARTMENT
Process and Systems Engineering

Process Systems Engineering *is concerned with the development of systematic procedures for the design and operation of chemical processes and systems, under a continuous or batch processing mode, in steady or transient state.*

*A broader definition of the PSE area relies on the concept of the "**chemical supply chain**": Process Systems Engineering deals with the improvement of decision making processes for the design, operation, manufacture and distribution of chemical products in the context of many conflicting goals.*

This approach ties scientific research works at the molecular level for physico-chemical properties prediction with approaches for modelling and simulation of complex unit operations, for optimal plant design at a more global level and, finally, for enterprise decision making at the upper level.

All these activities have both theoretical and practical implications.

From a theoretical viewpoint, the work objective is to develop integrated strategies for improving the viability of chemical processes, and for making the results of chemical engineering science industrially feasible. In that context, they imply efficient numerical procedures and adapted modelling environment.
The research is thus directed at creating new methodologies, developing prototype implementations, and demonstrating the effectiveness of the resulting tools on important industrial problems. One of the key themes of the research is integration of applications and tools: achieving synergy through the linkage of the above application/decision levels and improving solution effectiveness by complementary combination of diverse methodologies.
From a practical point of view, the works have obviously major economical implications since the markets are submitted to a strong competition, become more and more versatile and evolutive, require even shorter response times and thus even more performing methods and tools to help decision making.

Areas of research include three topics, at different levels of the chemical supply chain:

- *Computer Aided Process Analysis;*
- *Process design, optimization and scheduling;*
- *Industrial engineering.*

I Analyse fonctionnelle des procédés

1 Computer aided process analysis

Denis Barreteau, Jean Pierre Belaud, Vincent Gerbaud, Pascal Floquet, Xavier Joulia, Xuan-Mi Meyer

OBJECTIFS

Les conditions économiques actuelles, les contraintes d'environnement et de sécurité, la dynamique du marché de la consommation, l'obtention de produits à propriétés d'usage certifiées imposent une très grande rigueur scientifique et technologique dans la conception et l'exploitation des procédés.
Face à ce défi, le Génie des Procédés met en place une **approche multi-échelle** procédé - opération unitaire - système matériel - molécule en cherchant à comprendre le fonctionnement des systèmes étudiés à des échelles de plus en plus fines, puis en intégrant ces connaissances acquises dans des modèles de plus en plus détaillés. Cette démarche bouleverse en profondeur les outils et les méthodes du Génie des Procédés : les outils d'introspection doivent se miniaturiser et les modèles macroscopiques doivent être adaptés. Parallèlement se développe une **approche intégrée** avec des étapes imbriquées telles que la conception optimale procédé - produit pour étudier l'impact des matières premières sur la conception et la conduite du procédé, ou bien l'intégration modélisation – simulation – expériences pour la mise en œuvre d'une approche expérimentale séquentielle.
C'est dans ce cadre général que se situent les activités de l'Equipe Analyse Fonctionnelle des Procédés dont l'objectif essentiel est le développement d'un **environnement informatique intégré pour la modélisation et la simulation des procédés continus ou discontinus, en régime permanent ou transitoire.**
Cet environnement sert de structure de **capitalisation et d'exploitation des connaissances** acquises par les spécialistes à différentes échelles spatiales et temporelles. Ces connaissances concernent :

- les propriétés physico-chimiques relatives aux espèces chimiques et à leurs interactions ;
- les phénomènes physico-chimiques élémentaires tels que les équilibres chimiques et entre phases, la cinétique et les phénomènes de transfert ;
- les opérations unitaires ;
- les procédés.

Le modèle, qui hérite de l'ensemble de ces connaissances, sert alors de référence durant la durée de vie du procédé, depuis les pré-études au laboratoire jusqu'au démantèlement de l'unité. Ce **modèle de cycle de vie** peut alors être utilisé pour :

- comprendre les phénomènes physico-chimiques mis en jeu ;
- concevoir de nouveaux appareils et procédés en harmonie avec un développement durable ;
- analyser le fonctionnement et les modifications éventuelles d'installations existantes ;
- aider à la conduite de ces installations.

OBJECTIVES

Computers are increasingly used to design rapidly new profitable, reliable and safer processes, to improve existing plants and set better operating conditions. Within this framework, the " Computer Aided Process Analysis " Research Team develops a general methodology for the modelling, simulation and optimisation of parachemical and chemical processes involving both continuous (steady and transient states) and batch operating modes.

To meet these expectations, a **multi-scale** *and integrated approach is required. The multi-scale approach intends to tackle at increasingly finer scales the behaviour and the phenomena occurring in unit operations. Then, the knowledge obtained at the smaller scale can be integrated through carefully selected relevant parameters in larger scale models in order to improve their predictive capability. In parallel an integrated approach like " optimal process design " is required to assess the impact of raw materials on process design and control whereas the " modelling - simulation – experiments " methodology is used for the implementation of an efficient and sequential experimental approach.*

Knowledge is essential at each stage and concerns physicochemical properties relating to the chemical species and their interactions; elementary physicochemical phenomena such as chemical and phases equilibria, kinetics and transport phenomena; unit operation, full processes.

The life cycle model which benefits from this knowledge enables to understand the existing physicochemical phenomena; to design new apparatus and processes with respect to sustainable growth principles; to analyze process operation and retrofitting; to operate and to control processes.

MAIN RESULTS

We are involved in three research directions, namely modelling and simulation of complex systems (data analysis and processing, distributed or multidirectional systems), process intensification; Computer aided integrated product and process design; process modelling and simulation framework (open software tool for the simulation of CAPE-OPEN compliant processes, object oriented tools, multicriterion optimization within a simulator).

DÉPARTEMENT PSI

PRINCIPAUX RESULTATS

Les travaux sont classés suivant trois axes :

1. Modélisation et simulation de systèmes complexes
2. Conception intégrée produit - procédé assistée par ordinateur (CP2AO)
3. Environnement de modélisation et de simulation de procédés

I.I Modélisation et simulation de systèmes complexes

Les travaux en modélisation et simulation des procédés se sont poursuivis dans les secteurs d'application tels que la bio-industrie et l'agro-alimentaire. Plus récemment, des applications dans le domaine de l'énergie ont été développées. La modélisation mathématique est généralement faite selon une approche phénoménologique. Les modèles développés s'appuient donc sur la description des phénomènes physiques, chimiques et biologiques. Une attention particulière est portée à la représentation de la " matière " mise en œuvre dans les procédés à simuler. Les systèmes étudiés sont qualifiés de " complexes " soit du fait de leurs propriétés intrinsèques (électrolytes, systèmes biologiques, systèmes distribués), soit en raison de leur comportement thermodynamique (systèmes triphasiques, azéotropiques, équilibres simultanés chimiques et physiques) ou des phénomènes physiques mis en jeu (fort couplage de phénomènes de transfert de matière, d'énergie et de quantité de mouvement). A cela s'ajoute parfois le degré de finesse introduit dans le modèle de représentation. Chacune des études réalisées permet de progresser dans différents aspects de la modélisation et de la simulation : modélisation du système matériel, formulation mathématique des modèles en vue de faciliter leur résolution numérique, choix de méthodes numériques appropriées, estimation des paramètres. L'approche générale de modélisation retenue dans le cadre de ces différentes études est présentée dans le mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches de X. Meyer (2004).

Les principaux résultats obtenus dans cet axe peuvent être classés en deux catégories relevant respectivement de l'analyse de données et de l'intensification de procédés.

- **Acquisition et traitement de données expérimentales**

A partir de données expérimentales, les objectifs sont d'obtenir un jeu de données cohérent, d'en faire une exploitation optimale en vue d'acquérir et de capitaliser la connaissance sur les mécanismes fondamentaux et d'en extraire un modèle pour l'optimisation et la conduite des procédés.

Développés initialement pour l'industrie chimique, les méthodes et outils sont appliqués depuis la thèse de M. Fillon (1993) à des problématiques en biotechnologies. Dans cette thématique, différents travaux ont été menés en collaboration avec l'équipe "génie des systèmes microbiens " du département RMS. La thèse de S. Pommier (2003) a ainsi permis d'étudier la dynamique de populations microbiennes en culture mixte

1.1 Modelling and simulation of complex systems

Work in modelling and simulation of the processes concerns traditionally bio-industry and agro-alimentary fields but more recently, energy topics have been addressed. Mathematical modelling is generally made according to a phenomenological approach. The developed models are thus based on the description of the physical, chemical and biological phenomena. Much care is devoted to the representation of the "material system" involved. The studied systems are so-called "complex" either because of their intrinsic properties (electrolytes, biological systems, distributed systems), or because of their thermodynamic behaviour (three phase systems, azeotropic, chemical and physical simultaneous equilibria) or because of the physical phenomena involved (strong coupling of several transport phenomena). In addition to that, the model may describe several scales. Each study carried out makes it possible to progress in various aspects of modelling and simulation: modelling of the material system; mathematical formulation of the models in order to facilitate their numerical resolution, numerical choices of adapted methods; estimation of the parameters. The general approach of modelling retained within the framework of these various studies is presented in the Research Accreditation Report of X. Meyer (2004).
The principal results obtained in this research direction are classified in two categories data analysis and process intensification.

- ***Data analysis***

The goal is to obtain from experimental data a coherent data set and to exploit it as best as possible to acquire and to capitalize knowledge on the fundamental mechanisms in order to extract from it a model for process optimization and control. Developed initially for the chemical industry, the methods and tools are applied since the thesis of M. Fillon (1993) to problems in biotechnologies, in collaboration with the LGC department in Biotechnology. The PhD thesis of S. Pommier (2003) thus made it possible to study the dynamics of microbial populations in mixed culture and to model the "killer" phenomenon in Saccharomyces cerevisiae. The post-doctorate of C. Brandam (2002), carried out in partnership with the TEPRAL, made it possible to extend the results of its PhD thesis on the optimization of the mixing conditions of beer musts to various varieties of malts of barley and other cereals (Brandam et al., 2002) (Brandam et al., 2003). The PhD thesis of H. Akin, started in 2004 concerns the impact study of the pH on alcoholic fermentations.

Because of a lack of data, only a behavioural modelling can be developed. Thus the coupling of a model based on neural networks with combinatorial optimization (genetic algorithm multi-objective) was carried out in the post-doctoral work of R. Alves

et de modéliser le phénomène " killer " chez Saccharomyces cerevisiae. Le post-doctorat de C. Brandam (2002), réalisé en partenariat avec le TEPRAL, a permis d'étendre les résultats de ses travaux de thèse sur l'optimisation des conditions de brassage des moûts de bière à différentes variétés de malts d'orge mais aussi d'autres céréales (Brandam et al., 2002) (Brandam et al., 2003). La thèse d'H. Akin, démarrée en 2004 et portant sur l'étude de l'impact du pH sur le déroulement des fermentations alcooliques, permettra de poursuivre des travaux dans cette thématique " biotechnologie ".

En l'absence de connaissance sur le système étudié, seule une modélisation comportementale peut être développée. C'est ainsi que le couplage d'un modèle basé sur des réseaux de neurones avec un algorithme d'optimisation combinatoire (algorithme génétique multi-objectif) a été réalisé dans le travail post-doctoral de R. Alves dans le cadre d'une collaboration de recherche LGC - Université de São-Paulo (projet Capes-Cofecub, 2003-2006).

En 2003, à travers une étude de cas (synthèse du CIMOXAMYL) réalisée pour la société HOLIS et en collaboration avec le LCCFP (Laboratoire de Catalyse, Chimie Fine et Polymères, Pr. Ph. Kalck), S. Massebeuf a étudié, en post-doctorat, l'apport de la modélisation et simulation pour faciliter le passage du laboratoire à la production industrielle.

En 2004-2005 (post-doctorat R. Théry), Arkema a confié au Laboratoire l'étude de dix synthèses chimiques complexes tant par la nature du milieu réactionnel que des phénomènes chimiques mis en jeu. A partir de données expérimentales, l'objectif est, pour chaque synthèse, de valider un schéma réactionnel, de proposer un modèle cinétique et d'en identifier les paramètres.

Démarrée en 2004, la thèse de F. Nozahic menée en collaboration avec l'ADEME et le CEA porte sur une voie de production d'hydrogène à partir de biomasse. Elle pose notamment la problématique de la détermination de " composés modèles " pour caractériser la matière première, la biomasse, et les produits tels que les goudrons ou le résidu carboné.

- **Intensification des procédés**

L'intensification des procédés est née dans les années 1990 de l'idée de concevoir des procédés durables, propres et sûrs. Elle consiste à développer de nouveaux appareils et de nouvelles techniques qui, comparés aux technologies " classiques ", permettent une amélioration substantielle des procédés et des usines en terme de ratio taille / capacité de production, de rendement, de consommation d'énergie et de production de déchets.

La distillation réactive, qui intègre dans un même appareil réaction et séparation, est tout à fait caractéristique de ce domaine de recherche. L'ampleur de la tâche et le grand nombre d'aspects impliqués dans l'étude de ce réacteur multifonctionnel nous ont conduit à intégrer ces travaux dans le cadre du groupe de

within the framework of a collaboration LGC - University of São-Paulo (Capes-Cofecub project, 2003-2006).

In 2003, through a case study (synthesis of the CIMOXAMYL) realized for HOLIS Co. and in collaboration with the LCCFP (Laboratory of Catalysis, Fine Chemistry and Polymers, Pr. Kalck), S. Massebeuf studied as a post-doctorate, the contribution of modelling and simulation to ease industrial scale-up.

In 2004-2005 (post-doctorate R. Théry), Arkema supported the Laboratory for the study of ten chemical syntheses with complex reaction medium and chemical phenomena involved. From experimental data, the objective is, for each synthesis, to validate a reaction pathway, to propose a kinetic model and to identify its parameters.

Started in 2004, the PhD thesis of F. Nozahic carried out in collaboration with the ADEME and the CEA concerns the production of hydrogen starting from biomass. It poses in particular the problems of the determination of "model compounds" to characterize the biomass, and the products such as the tar or the carbonated residue.

- ***Process intensification***

Process intensification has emerged in the 90's from the idea to conceive sustainable, clean and sure processes. It consists in developing new apparatuses and techniques which, compared with "traditional" technologies, bring a substantial improvement of the processes and factories in terms of size / output capacity, energy consumption and waste production.

Reactive distillation, *which integrates in the same apparatus reaction and separation, illustrates well process intensification and is a whole field of research in itself. Thus the work is done within the working group "reactive distillation", directed by Mr. Meyer (LGC department RMS) that join efforts from the LGC in collaboration with the LaTeP of Pau (Laboratory of Thermics and Processes), the University of Berlin (program Procope 2005-2006), the University of Budapest (Balaton program, 2002-2003, PhD thesis of C. Steger) and the University of Barcelona (PhD thesis of J Bonet).*

Our objective is to analyze the reaction - phase equilibrium coupling. The PhD thesis of R. Thery (2002) made it possible to develop a design methodology of reactive distillation columns able to locate the reactive zone and the zones of pure separation, to determine the feed number and position as well as the operational parameters to reach given specifications (Théry et al., 2005a, 2005b). This methodology was applied to industrial problems (Rhodia, 2004) and should be validated by experiments in 2005. A

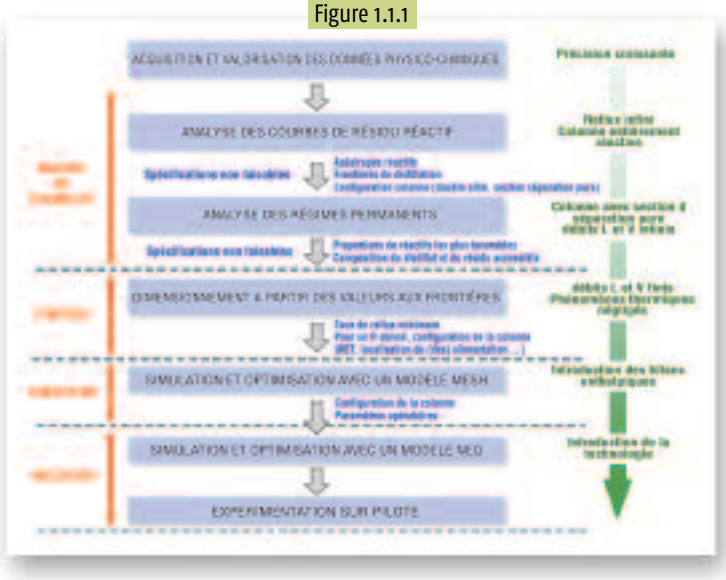
DÉPARTEMENT PSI

travail " distillation réactive ", dirigé par M. Meyer (département RMS) et créé au sein du Laboratoire de Génie Chimique en collaboration avec le LaTeP de Pau (Laboratoire de Thermique et des Procédés), l'Université de Berlin (programme Procope 2005-2006), l'Université de Budapest (programme Balaton, 2002-2003, thèse de C. Steger en co-tutelle) et l'Université de Barcelone (thèse de J. Bonet en co-tutelle).

Notre objectif est d'analyser le couplage réaction - équilibre entre phases afin de mieux appréhender le comportement des colonnes de distillation réactive dans un but de conception, d'optimisation et de contrôle. La thèse de R. Thery (2002) a permis de mettre au point une méthodologie de conception de colonnes réactives capable de localiser la zone réactive et les zones de séparation pure, de déterminer le nombre et la position des alimentations ainsi que les paramètres opératoires permettant d'atteindre des spécifications (Théry et al., 2005a, 2005b). Cette méthodologie a été appliquée à une problématique industrielle (Rhodia, 2004) et devrait être validée expérimentalement en 2005. Une seconde application industrielle, l'utilisation d'une trans-estérification pour la valorisation de l'acétate de méthyle, sous-produit issu d'un procédé PVA (poly-vinyl-alcool), a pour cadre la thèse de J. Bonet. Nous avons montré que le procédé le plus efficace est la distillation réactive avec changement de pression. Cette étude a abordé les aspects faisabilité, conception, simulation et validation expérimentale des équilibres thermodynamiques.

Méthodologie pour la conception d'unités de distillation reactive [Thery, 2002]

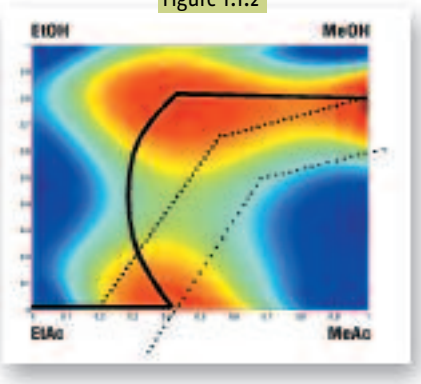
Figure 1.1.1



La méthodologie, limitée pour l'instant en terme de système réactif et de configuration de colonne, doit être étendue dans le cadre de différents travaux. La thèse de B. Belaissaoui devrait permettre de gérer des systèmes réactifs en phase liquide et vapeur. Afin de pouvoir traiter des systèmes triphasiques, un modèle général permettant de gérer l'apparition et la disparition de phases a été développé dans le cas de systèmes non réactifs (stage DEA F. Llovell, 2002) (Théry et al., 2004). Ces travaux sont étendus aux systèmes réactifs dans le cadre de la thèse de M. Brehelin développée en partenariat avec le département RMS.
Le partenariat avec le LaTeP doit permettre de coupler cette méthodologie à une optimisation des paramètres structuraux et opératoires de manière à proposer une configuration optimale vis-à-vis de critères économiques et environnementaux.

second industrial application is studied in the PhD thesis of J. Bonet, namely the use of a trans-esterification for the valorisation of methyl acetate, by-product of the Poly-Vinyl-Alcohol process. It showed that the most effective process is a pressure swing reactive distillation process. This study assessed the aspects feasibility, design, simulation and experimental validation. The successful methodology is limited so far in terms of reactive system and column configuration and is extended through the PhD thesis of B. Belaissaoui to handle reactive systems in liquid and/or vapour phase. To cope with three phase equilibrium systems, a general flash dynamic model handling phase appearance and disappearance was developed in the case of nonreactive systems (DEA F. Llovell, 2002) (Théry et al., 2004) and is extended to reactive systems during the PhD thesis of M. Brehelin, in collaboration with the department RMS. The partnership with LaTeP will also enable to couple this methodology with an optimization of the structural and operational parameters so as to propose an optimal configuration with respect to economic and environmental criteria.

Figure 1.1.2



Reactive driving force and column profile (reactive coordinates) [Bonet, 2005]

*The **compact heat exchanger** constitutes another apparatus with a strong process intensification potential. The PhD thesis of F. Picard (CIFRE grant with Nordon Cryogénie) extends previous results to 3D modelling of a brazed plate-fin heat exchanger, considering the thermal and hydraulic operation of these exchangers in steady-state and transitory operation in order to improve their efficiency in all circumstances, including under flow perturbation.*

*The **fuel cells** field is a medium and long term field of research in full expansion where problems are numerous and often arise from process intensification to produce hydrogen efficiently and at lower cost. Several studies are undertaken on this subject:*

- *"optimal operation of a reformer and fuel cells unit". This work funded by the Midi-Pyrénées Région and in partnership with N-ghy Co., aims at the modelling and the simulation of an innovating system of production of electrical energy and thermal based on the association of a noncatalytic reformer at high temperature*

L'**échangeur compact** constitue un autre appareil à fort potentiel pour l'intensification des procédés. La thèse de F. Picard (bourse CIFRE, Nordon Cryogénie) s'inscrit dans la continuité des travaux menés depuis une vingtaine d'années sur ce sujet et concerne la modélisation 3D d'un échangeur à plaques brasées. Elle a pour objet de préciser le fonctionnement thermique et hydraulique de ces échangeurs en régime permanent et transitoire afin de concevoir des échangeurs performants en toutes circonstances, même lors de perturbations sur les fluides.

Les **piles à combustibles** représentent l'aboutissement à moyen et long terme d'un domaine de recherche en pleine expansion. Les problèmes sont nombreux et relèvent souvent de l'intensification des procédés dans le but de produire l'hydrogène efficacement et à moindre coût. Plusieurs études ont été menées sur ce sujet :

- Fonctionnement optimal des systèmes à piles à combustible et reformeur
Ce travail, qui a bénéficié d'un financement de la région Midi-Pyrénées et d'un partenariat avec la société N-GHY, a pour objectif la modélisation et la simulation d'un système innovant de production d'énergie électrique et thermique basé sur l'association d'un reformeur non catalytique à haute température et d'une pile à combustible. La modélisation du système, en régime permanent et dynamique, est destinée à différentes applications dont une application marine de grande puissance (500kWe net en sortie de pile). La modélisation et la simulation en régime permanent du procédé complet a été réalisée sous ProSimPlus dans le cadre du post-doctorat de M. Mitrovic (2003). Le couplage production d'hydrogène - pile à combustible en régime transitoire (F. Picard, 2004) a quant à lui été effectué dans l'environnement Matlab/Simulink.

- Étude de la dynamique d'une chambre de combustion (post-doctorat K. Hammadi, 2003)
La simulation dynamique d'un réacteur d'oxydation partielle a été menée dans le cadre d'un contrat ADEME en relation avec l'IFP. Elle avait pour but d'estimer le temps de démarrage d'une unité de production d'hydrogène pour l'utilisation dans une pile à combustible destinée à un véhicule. Le modèle d'équations aux dérivées partielles a été intégré par une méthode d'éléments finis. Les hypothèses retenues conduisent à un modèle conservatif qui prédit une durée convenable pour atteindre le niveau thermique dans la zone réactionnelle.

I.2 Conception intégrée produit - procédé assistée par ordinateur (CP2AO)

La démarche multi-échelle exige des données physico-chimiques précises et une connaissance approfondie des phénomènes limitants, en particulier des phénomènes microscopiques aux interfaces, vecteurs entre les différentes échelles. Le manque de données et la difficulté à les obtenir expérimentalement incitent à chercher dans la simulation moléculaire une solution alternative pour les phénomènes limités par les interactions énergétiques. Basée sur la thermodynamique statistique elle propose des solutions intéressantes *and of a fuel cell. The steady-state and dynamic modelling of the system is intended for various applications of which a marine application of great power (500kWe net at the cell exit). Steady-state study was carried out with ProSimPlus (post-doctorate of M. Mitrovic, 2003). The coupling production of hydrogen - fuel cell in transient state (F. Picard, 2004) was carried out in the Matlab/Simulink environment.*

- *"Study of the dynamics of a combustion chamber" (post-doctorate K. Hammadi, 2003) within a contract with ADEME in relation with IFP. The purpose was to estimate the start-up time of a hydrogen production unit so as to use it in a fuel cell within a vehicle. Finite elements were used to derive the partial equations set. The selected assumptions lead to a conservative model which predicts a suitable duration to reach the required temperature in the reaction zone.*

1.2 Computer Aided Product Process Design (CAPPD)

The multi-scale approach requires precise physicochemical data and a thorough knowledge of the limiting phenomena, in particular microscopic phenomena within the various scales interfaces. The lack of data and the difficulty of obtaining them in experiments encourage seeking in molecular simulation an alternative solution for the phenomena limited by the energy interactions. Based on statistical thermodynamics it proposes reliable solutions, in parallel with efficient but less detailed modelling within the competence of macroscopic thermodynamics. The Research Accreditation Report of V Gerbaud (2003) synthesizes the "Contributions of molecular simulation in Computer Aided Product and Process Design".

Research is conducted in two intertwined orientations, namely "process" and "product" oriented CAPPD.

- ***Process oriented CAPPD***

Liquid waste treatment and recovery is becoming mandatory in the current regulation and sustainable growth frameworks. Distillation is a process of choice because of its achievable purity, at the expanse of a large energy cost. To explore new and more efficient operation paths and to handle a wider range of cases like liquid – liquid – vapour systems requires developing original design and synthesis tools (Rodriguez-Donis et al., 2001). Separation of azeotropic or close-boiling mixtures is a key issue and constitutes the core of process-oriented CAPPD as it often requires adding a third-body compound which choice compels heavily the process efficiency. This issue has been addressed by I. Rodriguez-Donis during her PhD thesis (2002), followed by two projects CNRS France-

santes, au côté de modélisations performantes mais moins élaborées du ressort de la thermodynamique macroscopique. L'Habilitation à Diriger les Recherches de V. Gerbaud (2003) synthétise les " apports de la simulation moléculaire dans la conception intégrée de produits et de procédés assistée par ordinateur ".

Les travaux de recherche s'articulent autour des deux axes de recherche " procédé " et " produit ".

• CP2AO côté procédé

La nécessité réglementaire et environnementale de trouver de nouvelles alternatives pour le traitement des effluents liquides et le recyclage des solvants a généré un regain d'intérêt pour la distillation. Explorer de nouveaux modes opératoires et traiter de systèmes hétérogènes liquide – liquide – vapeur nécessitent de développer des outils de conception et de synthèse originaux (Rodriguez-Donis et al., 2001). Le choix d'un tiers-corps recyclable affecte considérablement la faisabilité et les performances du procédé et impose d'employer une approche intégrant l'optimisation du couple procédé – produit dès la phase de conception. Ces travaux ont abouti avec la thèse de I. Rodriguez-Donis (2002), suivie de deux projets CNRS France-Cuba (2002 et 2004), et d'un projet ALFA II (2005-2007) (Rodriguez-Donis et al., 2002). Ils ont été valorisés dans le cadre d'un projet de R&D ADEME-Prosim (Conception et conduite optimale d'unités "durables" de régénération de solvants par distillation discontinue, 2002-2004) avec le développement de logiciels qui permettent de faire l'analyse de faisabilité et l'optimisation des procédés de distillation discontinue. Ces logiciels sont aussi basés sur le modèle dynamique d'étage d'équilibre multiphasique développé récemment (DEA de F. Llovell, 2002). La thèse de V. Varga (2004-2007), en co-tutelle avec BUTE, Hongrie, suite à un PAI BALATON (2002-2004) étend cette approche à la distillation extractive

(Rodriguez-Donis et al., 2003). Par ailleurs, au-delà de la conception optimale, on s'intéresse à la conduite autour d'un point de fonctionnement optimal. En effet, les colonnes de distillation complexes peuvent présenter plusieurs régimes permanents, cette multiplicité étant directement induite par la nature thermodynamique des mélanges à séparer (DEA de A. Benhalima (2002), outil de conception des colonnes de distillation hétérogène : analyse statique des profils de composition ; stage ERASMUS de J. Bonet (2003), la multiplicité et la stabilité des séquences de colonnes de distillation azéotropique hétérogène continue.) (Alliet-Gaubert et al. 2004)

• CP2AO côté produit

Bien qu'essentielle, la connaissance des propriétés physico-chimiques des constituants est hélas trop souvent incomplète et les modèles de prédiction existants ont des performances de qualité inégale dans les domaines émergents (électrolytes, liquides ioniques, macromolécules, bio molécules, systèmes réactifs,...). Intrinsèquement précis, les outils de simulation moléculaire sont une alternative pour obtenir ces propriétés manquantes avec une précision voisine de celle des mesures expérimentales.

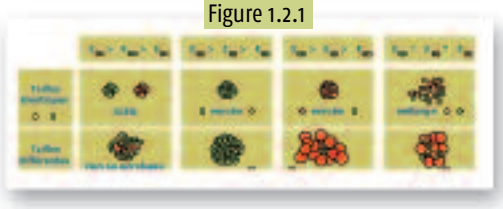
Cuba (2002 and 2004), and the upcoming project ALFA II (2005-2007) (Rodriguez-Donis et al., 2002). They were further implemented within a R et D project ADEME-Prosim (Design and optimal control of sustainable units of solvent regeneration by discontinuous distillation, 2002-2004) through the development of software tools which perform the feasibility analysis and optimization of discontinuous distillation processes. These tools are also based on the dynamic model of a multiphase equilibrium developed recently (DEA F. Llovell, 2002). The PhD work of V. Varga (2004-2007), in co-supervision with BUTE, Hungary, following a PAI BALATON (2002-2004) extends this approach to extractive distillation (Rodriguez-Donis et al., 2003). In addition, beyond the optimal design, one is interested in control around an optimal operation point. Indeed, complex continuous distillation columns can display multiple steady states; a multiplicity directly induced by the thermodynamic nature of the mixtures to separate (DEA A. Benhalima (2002)) or be related to column coupling within a column sequence (ERASMUS J. Bonet (2003)) (Alliet-Gaubert et al. 2004).

• *Product oriented CAPPD*

Despite its absolute importance, accurate knowledge of the physicochemical properties is alas too often incomplete and the existing models of property prediction have mixed performances in many emergent fields (electrolytes, liquid ionic, reactive macromolecules, bio molecules, systems...). Molecular simulation tools and techniques are an interesting alternative to obtain these missing properties with a precision close to that of experimental measurements.

*In **distillation,** CAPPD concerns the assessment at the meso or macroscopic scale of the physicochemical properties of the third component added to separate an azeotropic mixture. At the molecular scale, the PhD thesis of M. HadjKali (2004) has concerned the prediction by molecular simulation of nitrile liquid – vapour equilibrium and of azeotropes (Hadjkali et al. 2004). This work was done in collaboration with the CIRIMAT (Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingéniérie des matériaux, Toulouse, Pr. C. Mijoule) and the LCP (Laboratoire de Chimie-Physique, Paris-Sud, Pr. P. Ungerer). At the unit operation scale, the R&D project ADEME-Prosim (2002-2004) led to the development of a expert system for the choice of a third-body and a feasible process to separate azeotropic mixtures (RegSolExpert).*

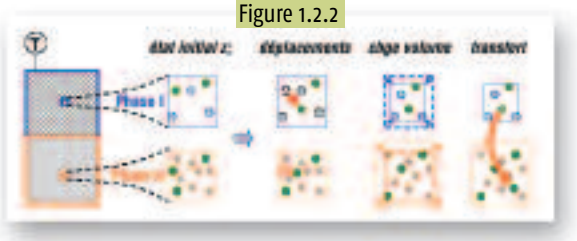
Figure 1.2.1



Coating model based on relative interaction energy [Benali, 2005]

En **distillation,** il s'agit de caractériser à l'échelle méso ou macroscopique les propriétés physico-chimiques des tiers-corps. A l'échelle moléculaire, la thèse de M. HadjKali (2004) a concerné l'application de la simulation moléculaire pour le calcul des équilibres liquide – vapeur des nitriles et pour la prédiction des azéotropes (Hadjkali et al. 2004). Ce travail n'a été possible qu'au travers de collaborations étroites avec le CIRIMAT (Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux, Toulouse, Pr. C. Mijoule) et le LCP (Laboratoire de Chimie Physique, Paris-Sud, Pr. P. Ungerer). A l'échelle de l'opération unitaire, le projet de R&D ADEME-Prosim (2002-2004) a permis d'élaborer un logiciel d'aide au choix d'un tiers-corps et d'un procédé réalisable pour séparer des mélanges azéotropiques (RegSolExpert) en cours de commercialisation.

Figure 1.2.2



Méthode de Monte Carlo dans l'ensemble de Gibbs pour la prédiction des équilibres liquide – vapeur [Hadj Kali, 2004]

Les procédés de **mise en forme des solides,** en particulier la granulation et l'enrobage, ont une importance notable dans l'élaboration finale des produits. Cependant, si les recherches ont jusqu'alors permis de mieux comprendre l'impact des paramètres opératoires, ce n'est pas le cas pour les paramètres physico-chimiques, souvent limitants. Une ACI SPI en 2002 a permis d'identifier les verrous scientifiques et a débouché sur la thèse de M. Benali traitant de l'approche thermodynamique pour la prédiction des propriétés d'usage des produits pulvérulents lors des étapes d'enrobage et de granulation. Il s'agit d'établir des passerelles entre les paramètres mésoscopiques des modèles de granulation et d'enrobage (paramètres de solubilité) et les interactions moléculaires qu'ils sont censés représenter de façon globale (attraction, dispersion, liaisons hydrogène).

Il est impératif de **substituer les arômes** référencés dans le livre blanc de la commission européenne. Pour cela, l'approche retenue dans la thèse en co-tutelle de M. Korichi démarrée en 2004, est la conception de molécules satisfaisant un cahier des charges de propriétés cible définies a priori. Cette approche, qui repose sur des méthodes de contributions de groupe et l'utilisation d'algorithmes génétiques, permettra de considérer d'autres propriétés des substances aromatiques, notamment celles liées à leur impact sanitaire et environnemental.

I.3 Environnement de modélisation et de simulation des Procédés

La complexité croissante des phénomènes modélisés, l'acceptation par la communauté scientifique de la simulation numérique comme méthodologie d'étude et d'analyse des systèmes physiques et l'élargissement du secteur d'application de la modélisation - simulation conduisent à une demande de plus en plus

Solid handling and tailoring *processes, in particular granulation and coating, have a notable importance in the final formulation of products. However, if research made it possible to better understand the impact of process parameters, physicochemical parameters which are often limiting ones, are rarely investigated. With an ACI SPI support in 2002, V. Gerbaud identified the scientific locks and the PhD thesis of M. Benali is currently focussing on a thermodynamic approach for the prediction of use properties of powder products in coating and granulation. The ambition is to build knowledge-based footbridges between the granulation and coating mesocopic parameters like solubility parameters and the interactions at the molecule level.*

Flavours substitution *is strongly recommended by the "White book" of the European Commission. For that, the approach adopted in the PhD thesis in co-supervision of M. Korichi started in 2004, is the design of molecules satisfying a set of target properties targets defined a priori. Based on group contributions methods and with the use of genetic algorithms, it will enable to consider in the new molecule formulation other properties of the aromatic substances, in particular those related to their medical and environmental impact.*

1.3 Process modelling and simulation framework

The increasing complexity sought in the modelling of phenomena together with the acceptance by the scientific community of the numerical simulation as a valuable tool of study and analysis of the physical systems lead to an increasingly specific demand which cannot be completely satisfied by the current generic software packages. The process engineer or researcher must then be able to have a framework of modelling, a genuine toolbox, allowing him to easily integrate his skills and his knowledge (Alloula et al., 2004). A response is the definition of standards in parallel with the use of oriented object approach and the integration of software components. This research orientation thus aims at defining a new generation of software solutions readily available, perennial, reusable and interoperable by experts in various scientific fields in order to develop tailor-made applications.

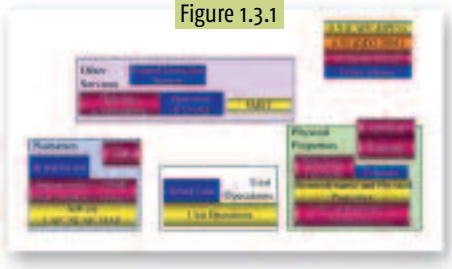
The PhD thesis of J.P. Belaud (2002) exemplified this approach within the international project Global-CAPE OPEN (1999-2002), a sequel of the CAPE-OPEN European project (1997-1999). These projects defined a standardized system for the interoperability and the integration of software components for process engineering. It also took part in the European project GCO-Support (2002-2003) and in the creation of the CO-LaN (CAPE-Open Laboratory Network) which brings a platform of exchange and communication and supports improvements and evolutions of the CAPE-Open standard (Belaud et al., 2002). One of the first example repercussions is the use of the same and single version

spécifique qui ne peut être totalement satisfaite par les progiciels génériques actuels. L'ingénieur de procédé ou le chercheur doit alors pouvoir disposer d'un environnement de modélisation, véritable boîte à outils, lui permettant d'intégrer aisément ses compétences et sa connaissance (Alloula et al., 2004). D'où les travaux sur la définition de standards, sur l'utilisation d'une approche orientée objet en modélisation et sur l'intégration de composants logiciels. Cet axe de recherche vise ainsi à définir une nouvelle génération de solutions logicielles dite " répartie, distribuée et ouverte ". Le but ultime est de rendre accessibles, pérennes, réutilisables et interopérables les composants logiciels développés par les experts de différents domaines scientifiques afin de développer des applications sur mesure.

Au travers des travaux de thèse de J.P. Belaud (2002), le laboratoire a participé au projet international Global CAPE-OPEN (1999-2002), suite du projet européen CAPE-OPEN (1997-1999). Ces projets ont défini un système standardisé pour l'interopérabilité et l'intégration de composants logiciels de l'ingénierie des procédés. Le laboratoire a également participé au projet européen GCO-Support (2002-2003) et à la création du CO-LaN (CAPE-OPEN Laboratory Network) qui assure une plate-forme d'échange et de communication et supporte l'amélioration et l'évolution du standard (Belaud et al., 2002). Une des premières retombées concrètes est l'utilisation de la même et unique version d'un serveur de propriétés thermodynamiques, Simulis Thermodynamics, commercialisé par la société ProSim, respectant le standard CAPE-OPEN, et ce dans nos différents environnements de développement : Fortran, C++, Matlab ou même Excel., garantissant ainsi une grande cohérence. Cette approche composants logiciels a également été mise en œuvre pour le projet RegSol.

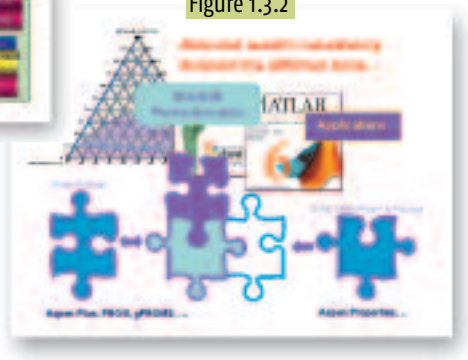
of a thermodynamic properties server, Simulis Thermodynamics, marketed by ProSim Co., respecting the CAPE-Open standard, in all of our modelling environment: FORTRAN, C++, Matlab or even Excel. This software components approach was also implemented in the RegSol project.

Figure 1.3.1



CAPE-OPEN environment[Belaud, 2002]

Figure 1.3.2



Simulis Thermodynamics ® a CAPE-OPEN compliant tool in various environments

2. Conception, optimisation et ordonnancement des procédés

2. Process design, optimization and scheduling

Catherine Azzaro-Pantel, André Davin, Serge Domenech, Luc Pibouleau

OBJECTIFS

Le thème général de recherche concerne **l'optimisation et la conception de procédés,** et dans ce cadre émerge de façon importante la classe des **problèmes mixtes,** qui contiennent des variables **continues** (conditions opératoires) et des variables **entières** (structure du procédé) voire des variables de **décision.** La démarche s'inscrit ainsi de façon prépondérante dans le développement de **stratégies d'optimisation en variables mixtes,** impliquant ou associant des méthodes **stochastiques** ou **déterministes.** Une orientation récente se positionne fortement vers les **méthodes d'optimisation multicritère.** Les concepts développés trouvent toute leur utilité dans des **thématiques majeures : conception optimale de procédés continus et de réseaux complexes, conception intégrée d'unités discontinues et ordonnancement d'ateliers.**

OBJECTIVES

Our research focuses on the optimization and design of processes; within this framework, a special attention is thus given to the class of mixed problems involving continuous and integer variables (respectively operating conditions and process structure) and even decision variables. The methodologies involve mainly the development of optimization strategies with mixed variables, either involving or associating stochastic or deterministic methods. Our work includes a recent emphasis on multicritria optimization methods. The developed concepts are widely used for treating several areas of research: optimal process and network design, integrated batch plant design and scheduling.

PRINCIPAUX RESULTATS

2.1 Développement de stratégies d'optimisation monocritère en variables mixtes

Une difficulté importante de résolution numérique des problèmes d'optimisation de procédés réside dans le fait, que dans la majorité des cas, ils comportent, des variables entières (nombre d'unités de même type, nombre d'étages d'une opération) ainsi que des variables continues relatives aux conditions de fonctionnement des opérations unitaires (débits, pressions, températures,...).

Dans le cadre des problèmes d'optimisation mixte monocritère, des études menées depuis une vingtaine d'années ont conduit à la mise en oeuvre de procédures par **programmation mathématique** dont l'efficacité a été montrée sur plusieurs exemples. Toutefois, cette dernière repose sur des hypothèses de convexité locale du critère et des contraintes.

Une alternative consiste à utiliser des algorithmes **d'optimisation stochastique ou métaheuristiques,** recuit simulé ou Algorithmes Génétiques. Ainsi, les travaux initiés sur la procédure du **recuit simulé,** dérivée des méthodes de la physique statistique, ont permis d'acquérir une certaine expérience sur **l'optimisation de problèmes discrets fortement combinatoires** (Davin et al., 2001) (Floquet et al., 2001). Cette procédure a été appliquée à la résolution de divers problèmes, tels que la détermination de l'ordre de lancement des produits dans un atelier de fabrication de semi-conducteurs. **Couplée avec une méthode déterministe continue SQP** (Sequential Quadratic Programming) afin de pouvoir traiter des problèmes mixtes, la procédure du recuit simulé a été mise en œuvre pour l'optimisation de réseaux de réacteurs afin de modéliser un lit fluidisé pour la dépollution d'effluents aqueux (Thèse de L. Montastruc, 2003, Bourse ministérielle) (Montastruc et al., 2003). L'optimisation de systèmes discrets s'est poursuivie par la mise en œuvre **d'algorithmes génétiques (AGs),** fondés sur une analogie avec les lois de l'évolution naturelle de Darwin. Un **AG couplé avec une méthode SQP** a été développé pour résoudre un problème d'équilibre liquide-solide (Thèse de L. Montastruc, 2003) (Montasruc et al., 2003) (Montastruc et al., 2004b), ou encore pour modéliser des écoulements dans des locaux ventilés (Thèse de D. Guerra, 2005, Bourse CEA), à partir de la distribution des temps de séjour d'un contaminant.

La conception d'ateliers discontinus relève par nature de la classe des problèmes d'optimisation mixte et constitue une thématique majeure. En pratique, la sélection d'une méthode d'optimisation est généralement effectuée suivant la taille des problèmes mais la classification est difficile dans la mesure où, d'une part, le problème n'est pas formulé explicitement de la même façon, notamment du point de vue des contraintes et où, d'autre part, il est difficile de prédire les performances d'une méthode sur un problème donné. Les travaux de thèse d'A. Ponsich (depuis octobre 2002, bourse BDI) en collaboration avec l'équipe

MAIN RESULTS

2.1 Development of monocriterion optimization strategies with mixed variables

A major difficulty involved in the numerical strategy to solve optimal process design problems is that both integer (identical unit number, number of stages per operation) and continuous variables associated with unit operating conditions (flowrate, pressure and temperature, ...) have to be taken into account.

For the past twenty years, many research projects have been carried out within this framework to develop mathematical programming methods that have proven their efficiency on several examples, based yet on the local convexity of criterion and constraints.

*An alternative consists in using **stochastic optimization algorithms,** the so-called metaheuristics, i.e. **simulated annealing** or Genetic Algorithms. For this purpose, the works initiated from the simulated annealing procedure, derived from statistical physics, led to gain experience in the optimization of highly-combinatorial discrete problems (Davin et al., 2001) (Floquet et al., 2001). This procedure was applied to the solution of various problems, for instance the determination of the product input order in a wafer manufacturing plant. This technique was also combined with an **SQP continuous deterministic method** to treat mixed problems, i.e. reactor network optimization to model a fluidized bed for wastewater treatment (L. Montastruc, PhD, 2003).*
*The optimization of discrete systems was then addressed by **Genetic Algorithms** (GAs), based on an analogy with species natural evolution. A **GA coupled with an SQP** method was developed to solve a liquid-solid equilibrium problem (L. Montastruc, PhD, 2003) (Montastruc et al., 2003) (Montastruc et al., 2004b) or to model air flow patterns in ventilated areas (D. Guerra PhD, 2005) from the residence time distribution of a pollutant.*

Batch plant design belongs by nature to the mixed problem class and constitutes a key theme of research. The selection of an optimization methods is practically based on problem size but the classification is indeed a difficult task since, on the one hand, the problem is not explicitly formulated in the same way (namely from the constraint viewpoint) and on the other hand, the performances of a given method are difficult to predict on a given problem. The purpose of the PhD work carried out by A. Ponsich (since October 2002) is to find out the most appropriate class of methods to tackle a given problem (a deterministic modelling environment via GAMS package or use of a genetic algorithm).
Optimal strategies for retreatment of slightly tritiated gaseous mixtures (hydrogen-deu-

DÉPARTEMENT PSI

A.P.O. (Algorithmique, Parallèle et Optimisation) du LIMA/IRIT/UMR CNRS 5505 INPT/UPS sont donc menés dans l'optique d'aider à sélectionner une méthode pertinente (environnement déterministe GAMS ou algorithme génétique) selon le problème étudié.

Dans le cadre d'un contrat avec le Centre de Valduc du CEA, les stratégies optimales de retraitement de mélanges gazeux faiblement tritiés (Hydrogène-Deutérium-Tritium) basées sur le couplage de deux procédés de séparations isotopiques : le procédé TCAP (Thermal Cycling Absorption Process) et la chromatographie inverse (Travaux post-doctoraux de L. Montastruc, 2004), ont été étudiées en utilisant une **variante de la méthode Simplex.**

2.2 Développement de stratégies d'optimisation multicritère et d'aide à la décision

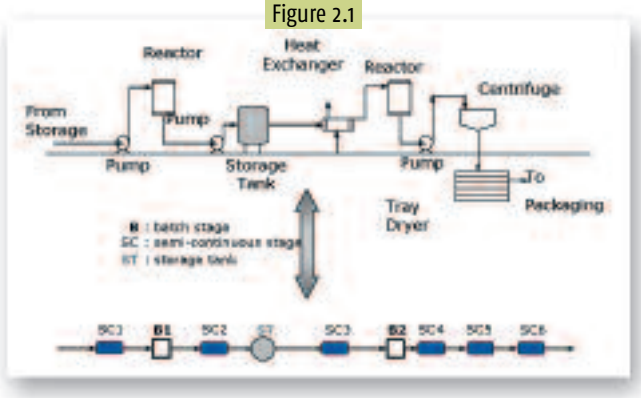
Les problèmes de conception de procédés ou de systèmes de production font intervenir pour une résolution rigoureuse une formulation en terme de problème **d'optimisation multicritère,** où plusieurs objectifs souvent contradictoires, tels, par exemple, la minimisation du coût d'investissement et le respect de normes environnementales, doivent être simultanément optimisés. Ainsi, la conception et le remodelage d'unités, pour adapter des ateliers existants à de nouvelles conditions de production, ont été abordés sous un aspect multicritère (aspect économique et deux critères liés à la flexibilité de l'atelier) dans la thèse de S. Dedieu (décembre 2001, Bourse ministérielle) en mettant en œuvre, au sein d'un **algorithme génétique,** une procédure de **tri de Pareto** (Dedieu et al., 2003). Une alternative a consisté à utiliser une méthode **d'analyse multicritère** et a confirmé les performances réalisées.

L'optimisation multicritère (aspects économiques et environnementaux) a été généralisée dans la thèse de A. Dietz (2004, bourse ministérielle) (Dietz et al., 2005), relative à la conception et à l'ordonnancement d'ateliers discontinus multiproduits en intégrant des modèles de simulation d'opérations unitaires. L'outil développé constitue à l'heure actuelle le support d'autres travaux (Thèse de O. Baez Senties, Bourse Conacyt) sur l'ordonnancement réactif d'ateliers et sur l'optimisation d'un procédé d'émulsification (Thèse de M. Dames, bourse syrienne) en collaboration avec C. Xuereb et N. LeSauze, Département RMS).

2.3 Conception optimale de procédés continus

Conception de procédés propres : pour approfondir l'impact prépondérant de la gestion de la pollution dans les procédés, une action de recherche a été menée visant la mise au point d'une méthodologie de développement d'un pilote automatisé, fiable et sûr pour la dépollution d'effluents aqueux d'origine industrielle, dans le cadre d'un projet subventionné par la D2RT. En raison de l'importance actuelle de la pollution des eaux liée aux ions phosphates, le procédé de récupération des phosphates à partir de la pré-

Figure 2.1



Batch plant generic model for comparative studies on mathematical programming techniques and genetic algorithms

terium-tritium) based on the modelling of two isotopic separation processes, thermal cycling absorption process and reverse phase chromatography (L. Montastruc, postdoctoral work, 2004) have been investigated with a ***variant of the Simplex method.***

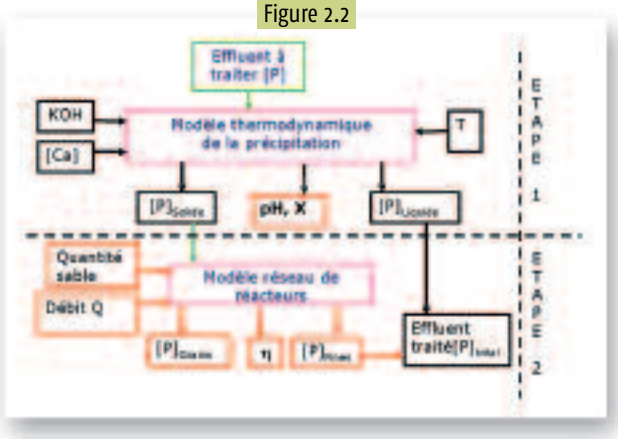
2.2 Development of multicriteria optimization and decision making strategies

To be solved rigorously, process or production system problems may involve a formulation as ***multicriteria optimization*** *problems, where several objectives that may be conflicting have to be simultaneously optimized, such as cost investment minimization or environmental standard respect. For instance, methodologies for plant design and retrofit (to adapt existing plants to new production conditions) have taken into account multicriteria aspects (cost criterion and two indexes linked to plant flexibility) (S. Dedieu, PhD, 2001) with a* ***Pareto sort procedure embedded in a Genetic Algorithm*** *(Dedieu et al., 2003). An alternative consists in using a multicriteria analysis methods that confirms the results obtained previously.*

Multicriteria optimization *under economical and environmental considerations was generalized for batch plant design and scheduling, with integration of unit operation models (A. Dietz, PhD, 2004) (Dietz et al., 2005). The developed prototype serves as a supporting tool for other research works (O. Baez Senties, PhD, since 2003) on batch plant reactive scheduling and on optimization of an emulsification process (M. Dames, PhD, 2005), in partnership with X. Xuereb and N. Le Sauze,)*

cipitation d'un phosphate de calcium en lit fluidisé a été retenu pour valider la démarche [thèse de L. Montastruc (septembre 2003) en collaboration avec B. Biscans, Département GIMD et M. Cabassud, Département RMS) (Montastruc et al., 2004a, b, c). Les travaux ont été guidés par la compréhension des phénomènes et leur modélisation, ainsi que par des préoccupations de transfert technologique rapide. En particulier, la modélisation du procédé basée sur une approche à deux niveaux (modélisation thermodynamique suivie d'une modélisation systémique par identification du modèle du réacteur) a permis de déterminer les conditions optimales de fonctionnement.

Figure 2.2



Principe de la modélisation du lit fluidise de déphosphatation

Conception de réseaux complexes : des travaux ont été menés sur les réseaux d'échangeurs de matière (Thèse S. Shafie, 2004) (Shafie et al., 2003, 2004) sur une application relevant des usines de pâte à papier dans le but de minimiser l'utilisation d'eau fraîche ainsi que les rejets d'eaux usées, en collaboration avec le Professeur Paris (Ecole Polytechnique de Montréal) ainsi que sur la modélisation du transfert d'un contaminant dans un local ventilé par des techniques dérivées des réseaux de réacteurs (Thèse D. Guerra, 2004). La thématique se poursuit actuellement avec l'identification de modèles de procédés complexes (décanteur, déphosphatation d'effluents aqueux, identification dynamique de modèles de réacteurs) par une approche algorithmique, fondée sur la programmation en variables mixtes et utilisant l'environnement GAMS (Thèse de S. Hocine depuis octobre 2003), et enfin la conception de réseaux de transport d'énergie (Thèse de F. Tabkhi, Bourse Sfere, depuis mai 2004).

2.4 Procédés discontinus

Conception intégrée de procédés : en chimie fine, les **ateliers multiproduits** (Bernal-Haro et al., 2002a, b) (Maruejouls et al., 2002) conduisent à une large gamme d'effluents liquides, solides ou gazeux qui nécessitent un traitement avant rejet. Or, le coût des technologies de traitement curatif des rejets a consi-

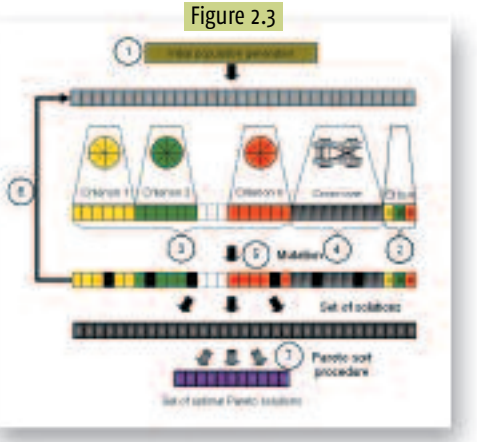
2.3 Optimal design of continuous processes

Design of clean processes: *to gain a better knowledge of the major impact of pollution management in processes, a research work was carried out to propose a development methodology for an automated and reliable pilot unit used for phosphate removal from industrial wastewater with the financial support of D2RT.*

Due to the current importance of water pollution attributed to phosphate ions, a fluidized-bed process for phosphate precipitation and removal from wastewater was investigated and served as a validation support (L. Montastruc, Sept. 2003, in partnership with B. Biscans, Dpt GIMD and M. Cabassud, Dpt., RMS) (Montastruc et al., 2004a, b, c). The works were guided by the understanding and modelling of the underlying phenomena with a rapid technology transfer concern. In particular, process modelling based on a two-step approach (thermodynamical modelling followed by systemic modelling based on reactor model identification) led to the determination of the optimal operating conditions

Design of complex networks : *works were carried out on mass exchange networks (S. Shafie, PhD, 2004) (Shafie et al., 2003, 2004) for a pulp and paper mill application in order to minimize fresh water consumption and waste disposal in partnership with Prof. Paris (Ecole Polytechnique, Montréal). Another investigation concerns the development of a*

Figure 2.3



Mutiobjective Genetic Algorithm [From Dietz A., 2004]

Figure 2.4

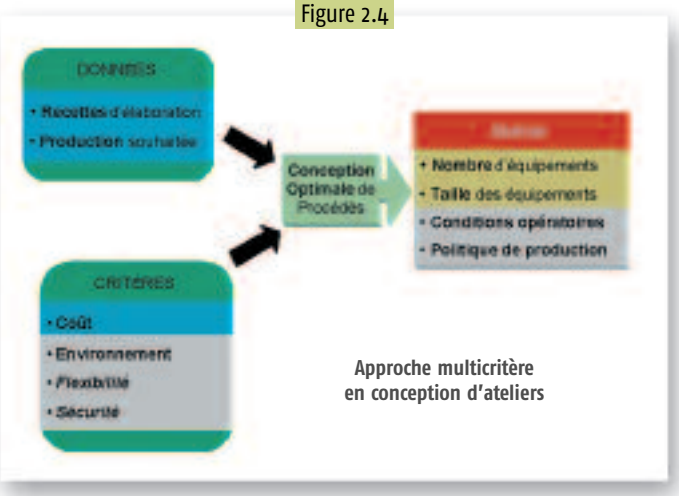
Fluidized bed used for phosphate removal

dérablement augmenté en raison du nombre croissant de réglementations sur l'environnement, de plus en plus strictes. La prise en compte de l'impact environnemental est de fait une activité intimement liée à la conception du procédé et à l'estimation des coûts. L'objectif du travail de thèse d'A. Dietz (Décembre 2004) a consisté à développer une **méthodologie de résolution intégrée** des problèmes de conception et d'exploitation d'ateliers discontinus en Génie des Procédés, prenant en compte l'aspect multicritère coût-impact environnemental (application des concepts **d'Analyse de Cycle de Vie,** définition d'un vecteur de pollution) par couplage d'un simulateur à événements discrets avec un algorithme génétique multicritère : les variables de décision sont la **configuration de l'atelier,** la taille et le **nombre des équipements** à chaque étape du traitement et les **conditions opératoires** ayant un impact majeur sur les critères d'optimisation. Un exemple industriel dans le cadre d'une collaboration avec la société SNPE-ISOChem a servi de support à l'étude.

Modélisation de l'incertitude et de l'imprécision : des travaux plus récents en conception d'ateliers discontinus intègrent les notions de **flexibilité et d'imprécision** (Thèse de A. Alberto Aguilar Lasserre, depuis octobre 2002), dans le modèle de représentation de l'atelier. Ainsi, l'arithmétique et la logique floues offrent un cadre conceptuel très intéressant, par l'introduction de nombres flous pour modéliser l'imprécision concernant certaines données.

Ordonnancement et supervision d'ateliers : des travaux antérieurs (Charles et al., 2001a, b) ont été consacrés à la détermination de politiques efficaces d'ordonnancement, impliquant le couplage entre un simulateur à événements discrets pour représenter le fonctionnement dynamique de l'atelier avec une procédure d'optimisation " maître ". Cette approche a permis d'obtenir des résultats tout à fait satisfaisants mais elle s'avère pénalisante en temps de réponse pour des applications de **supervision.** Une voie plus intéressante consiste à utiliser un modèle de type **réseaux de neurones** pour représenter l'atelier (thèse de O. Baez Senties, depuis octobre 2003, Bourse Conacyt).

Figure 2.4



Approche multicritère en conception d'ateliers

pollutant transfer modelling approach via techniques derived from reactor networks (D. Guerra, PhD, 2004). This topic is currently extended to the identification of complex process unit models (settling tank, wastewater phosphate removal) using an algorithmic approach founded on mixed integer programming with GAMS package (S. Hocine, PhD, since 2003) and finally to energy supply networks (F. Tabkhi, PhD, since 2004).

2.4 Batch processes

Integrated process design: *chemical* ***multiproduct batch plants*** *(Bernal-Haro et al., 2002a, b) (Maruejouls et al., 2002) generate a wide range of liquid, solid, and gaseous waste streams that require treatment prior to discharge. The cost associated with waste treatment and disposal has skyrocketed in recent years due to increasingly stricter environmental regulations. Environmental impact assessment is therefore an activity closely related to process design and cost estimation.*
A research work then consisted in the development of an ***integrated*** *approach for design and scheduling of batch plants in process engineering (application of* ***Life Cycle Assessment,*** *definition of a* ***pollution vector****): the cost-environment. The multicritria concepts are taken into account by embedding a discrete-event simulator with a multiobjective genetic algorithm: the decision variables involved* ***are plant structure, equipment size and number*** *as well as some* ***process operating conditions*** *that may have a significant impact on optimization criteria. An industrial example was treated in partnership with SNPE Isochem and contributed to study validation.*

Uncertainty and imprecision modelling: *more recent works devoted to batch process design integrate* ***flexibility*** *and* ***imprecision concepts.*** *In that context, fuzzy arithmetic and logic offer a very interesting conceptual framework, taking into account fuzzy numbers for modelling the imprecision of some data.*

Batch plant scheduling and supervision: *previous works (Charles et al., 2001a, b) were devoted to the determination of efficient scheduling strategies, involving a discrete-event simulator representing the dynamic workshop behaviour with a master optimization procedure. This approach led to very satisfying results but may be penalizing from a response time viewpoint for supervision application. A more interesting way consists in using a neural network for batch plant modelling and is now under investigation (O. Baez Senties, PhD, since October 2003).*

3. GENIE INDUSTRIEL

Philippe Duquenne, Alain Hait, Gilles Hétreux, G. Lacoste (détachement à l'ENIT), Jean-Marc Le Lann, Stéphane Négny, Pascale Zaraté

OBJECTIFS

L'équipe de recherche associe ses compétences dans des thématiques disciplinaires précises et ciblées selon le triptyque Gestion de l'innovation et des projets innovants, gestion de la chaîne logistique de production et gestion intégrée des systèmes d'information et d'aide à la décision afin d'aborder des problématiques du Génie industriel. Le but est de proposer un environnement de recherche, des thématiques et des outils propres au Génie industriel dans un contexte métier Génie des Procédés. Par définition, il s'agit d'une recherche trans-disciplinaire.
A ce titre, l'équipe revendique la responsabilité (Pr G. Lacoste puis Pr J.M. Le Lann depuis 2003) du DEA Systèmes Industriels: méthodologies de la décision au sein de l'école doctorale Systèmes EDSYS (directeur Pr J. Erchler, LAAS-CNRS ; Pr. Gérard Authié, LAAS-CNRS). Ce DEA a été transformé et remanié en Master de Recherches SAID (Systèmes Automatiques, Informatiques et Décisionnels) en 2004. La responsabilité du parcours Systèmes Industriels : Méthodologies de la Décision (15-20 étudiants monoinscriptions ; 15-20 étudiants double inscription INPT-ENSIACET) incombe au groupe (Responsable : Jean-Marc LE LANN) ainsi que la coordination au sein d' EDSYS de l'axe Systèmes Industriels.
Ces activités de recherche s'inscrivent également dans la mouvance et les réseaux de recherche (Pôle STP du GDR MACS, Club des Enseignants-Chercheurs en Génie Industriel (ECGI, Présidence : Jean-Marc Le Lann, codirection J.P.Belaud)
Les recherches menées, bien qu'à finalités applicatives Génie des procédés, se trouvent aux croisements de différentes communautés telles que celle de Génie Industriel et de productique, de la recherche opérationnelle (RO), des systèmes à base de connaissances et d'aide à la décision (ROADEF, EURO, INFORMS), de la modélisation et simulation des systèmes (CAPE working party de la fédération européenne de Génie chimique ; GT VERSIM du GDR I3)

ACTIONS DE RECHERCHE

Deux grands axes forts peuvent être identifiés :

- Conception, Innovation technologique et gestion de connaissances,
- Décision et Organisation pour les procédés industriels

3. INDUSTRIAL SYSTEMS ENGINEERING

OBJECTIVES

Research focuses more precisely on three main areas in the field of Industrial Systems Engineering:
Innovative project management and technological Innovation management, Supply chain management for production, integrated management of aid decision systems and information systems.
The ultimate goal is to propose a research framework, research items and tools coming from Industrial Engineering field and applied preferentially to the field of the Process Systems Engineering and Chemical Engineering. By definition, it is an interdisciplinary research.
By the way, the research team is leading (Pr G. Lacoste then Pr. J. M. Le Lann from 2003) the DEA "Industrial System Engineering: Methodologies for Aid Decision" in the context of doctoral school studies Systems EDSYS (director: Prof. J. Erschler, LAAS-CNRS; Prof G. Authié, LAAS-CNRS). This DEA has been transformed and adapted in a Master Research Degree SAID (Automatic, Computing and Industrial Decision System) in 2004. The leading for Industrial Engineering/Methods for Decision (15-20 external students; 15-20 students from INPT-ENSIACET) is done by the research group (namely Pr J. M. LE LANN) as well as the coordination inside the EDSYS about the field devoted to Industrial Engineering.
These research activities are done in the umbrella of research nets (STP net from GDR MACS, French Club of teachers and Researchers from Industrial Engineering (ECGI, President: Jean-marc LE LANN, internal group coordination J. P. BELAUD).
The proposed research with Process System engineering application are at the crossroad with different research communities such as the Industrial Engineering one and Production management community, Operation research community, Knowledge based management and Aid Decision community (ROADEF, EURO, INFORMS), modelling and Simulation community (CAPE working party; GT ERP, ECI, SDH, C2E from GDRMACS, GT VERSIM from GDR I3)

MAIN RESULTS

Two main axes may be identified:

- *Conceptual Design, technological Innovation management and Knowledge Based Management*
- *Methods for Decision and Organisation management for the Process System Industry*

DÉPARTEMENT PSI

3.1 Axe Conception, Innovation et Gestion des connaissances

Cet axe présenté, dans le précédent rapport, comme prospectif s'est avéré tenir toutes ses promesses.

Gestion de l'Innovation technologique pour la conception, l'analyse et le développement de produit-procédé –processus et services associés

Dans le cadre de la thèse prospective d' Edgardo Cordova Lopez (2002) (Cordova Lopez et al., 2002a, 2002b), la théorie russe de résolution des problèmes inventifs TRIZ (G. Altshuller, 1926-1998) a été investigée puis une méthodologie propre et des outils associés ont été proposés, mis en œuvre et testés sur des benchmarks, puis appliqués en grandeur nature sur des problèmes industriels de l'industrie manufacturière et de génie des procédés (Siemens Automotive (résolution de problèmes dus à l' effet joule sur la mécatronique) ; Collaboration avec Volkswagen (Mexico) pour la réduction de pièces défectueuses (de 12% à 5%) sur la chaîne de cardans (problèmes thermiques)).
Ces recherches ont permis d'acquérir une certaine reconnaissance tant au niveau français (collaboration avec INSA Strasbourg (Pr de GUIO et CAILLAUD ; Arts et Métiers Bordeaux (Pr Nadeau) qu'international (membre du Altshuller Institute for TRIZ studies)
Ces travaux se poursuivent au sein de la thèse de Guillermo Cortes Robles, dans laquelle tout d'abord la méthodologie proposée a été améliorée et un certain nombre d'outils (lois d'évolution des technologies, Matrices de contradiction 2003, ...) ont été intégrés et testés sur des problèmes en génie des procédés.
Dans le cadre de l' HDR de Stéphane NEGNY une approche de la théorie TRIZ et de la méthodologie proposée a été tout particulièrement affinée pour les spécificités rencontrées en génie des procédés. Ceci repose sur une analyse conceptuelle et un couplage Ontologies, méthodes, vocabulaire propres au Génie des procédés avec les concepts et ontologies fondateurs de la théorie TRIZ (Collaboration avec Innovène-BP Lavéra).

Gestion de l'innovation et Gestion des connaissances (" Knowledge Based Management ")

Toujours dans le cadre de la thèse de Guillermo Cortes Robles et de l' HDR de Stéphane Negny en liaison avec l' IRIT (HDR Pascale ZARATE, décembre 2005), une synergie entre les outils précédemment développés et le raisonnement à base de cas (RPC, CBR (Case based reasoning) a été proposée, implémentée et en cours de validation (collaboration avec Delphi-General Motors en pourparler).

Une autre thématique investigée (thèse de Léoncio Candia Gimenez, février 2005) en collaboration avec l'université catholique de Maulé (Chili), Pr Angélica URRUTIA) s'est intéressée au problème de la gestion des connaisssances imparfaites, réalité dans laquelle la connaissance existe simultanément et nécessairement dans un domaine flou et non flou (Urrutia et al., 2002). Un modèle autopoétïque pour la gestion des connaissances imparfaites (Bases de données relationnelles floues) a été proposé pour le système de connaissances et le système opérationnel. Le champ d'expérimentation a été une industrie manufacturière de carton de la région de Maulé au Chili.

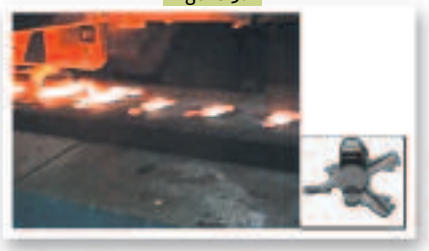
3.1 Conceptual design, technological innovation and Knowledge Based Management

This axis, previously presented as a prospective research area seems to have brought good promises.

Management of technological innovation for conceptual design, analysis and development of product-process-manufacturing and connected services

In the context of prospective works done by Edgardo Cordova Lopez (PhD thesis 2002) (Cordova Lopez et al., 2002a, 2002b), the TRIZ Russian theory for problem solving (G. Altshuller, 1926-1998) has been investigated and a proprietary methodology with associated tools has been proposed, implemented and tested on some benchmarks, then it has been applied in the real context on industrial problems for the manufacturing industry and in the process industry (Siemens Automotive Corporation for solving problems on Mechatronics; collaboration with Wolkswagen S.A. (Mexico) for reducing problems on steering knuckle spare part manufacturing (thermal problems)).

Figure 3.1



Use of TRIZ based methodology At Volkswagen Automotive (Mexico)

These studies have allowed the group to be identified by the French community (Collaboration with INSA Strasbourg (LAPRS, Pr de GUIO and E. CAILLAUD; ENSAM Bordeaux (PR NADEAU) as well as at the international level (AITRIZ, Altshuller institute for TRIZ studies).
These studies have been pursued by the PhD thesis from Guillermo Cortes Robles on the proposed methodology in order to enhance it and some new tools have been integrated such as the evolutionary laws for technologies and science, the 2003 contradiction matrix, and have been tested on Chemical Engineering problems.
In the context of Stéphane Negny Habilitation, a derived approach from TRIZ theory and the proposed methodology has been performed in order to better solve innovation problems emerging from the field of Chemical Engineering. This is based on a conceptual analysis and a synergy between ontologies and methods coming from Chemical Process Engineering and the more general concepts and ontologies on which the TRIZ theory is originally based.

Ces travaux s'inscrivent tout naturellement dans le cadre de l'HDR de Pascale Zarate (IRIT-LGC) portant sur les systèmes interactifs et coopératifs d'aide à la décision (SIAD-SCAD)-aspects conceptuels et fonctionnels dans laquelle une proposition d'architecture intégratrice et unifiée d'outils de communication, de gestion des taches de capitalisation des connaissances et d'interaction Homme/Machine dynamique est abondamment développée.

Conception et gestion de projet en vue de systèmes innovants

Le Génie industriel dans ce cadre est une science d'action permettant de concevoir, construire et de maintenir des organisations finalisées. La gestion de projet concourante gère l'ensemble de ces domaines en faisant remonter au niveau "au plus tôt" dans le cycle de vie d'un projet (ou d'un produit), l'analyse et la prise en compte du risque correspondant.
Elle s'applique à un domaine de recherche autonome car il suppose une approche interdisciplinaire intégrant outils techniques, modèles et méthodes dans la conception d'un système industriel ou d'un produit industrialisable.
Dans ce domaine, un certain nombre de travaux historiques (thèse de P. Bonna) en collaboration avec le CERN à Genève portant sur la mise au point de méthodologies de pilotage de grands projets avec des applications liées à l'ingénierie concourante ont été effectué, principalement sous la direction du Pr. G. Lacoste.
Il est, à noter, également, l'importance du sous-thème gestion et anticipation des risques dans les méthodologies de gestion de projets innovants appliquées aux projets de lancement de produits de l'industrie pharmaceutique comme le témoigne la thèse de Sophie Pruja Bougaret (Pr G. Lacoste en liaison avec le Centre de Recherche en Génie industriel de l'Emac d'Albi, collaboration Groupe Pierre Fabre, Vétoquinol) (Gourc et al., 2001, 2003). Ces travaux se sont poursuivis dans le cadre du DEA de Dounia TAZI sur la gestion des risques en projet-production (collaboration avec Airbus industries pour les aspects sécurité et retour d'expériences).

Une autre approche portant sur l'utilisation d'approches systémiques en gestion de projets est proposée au travers des travaux de thèse d'Alejandro SANDOVAL (collaboration avec l' ISTEM, Tec de Monterrey, Mexique). La théorie systémique et la mise en place de la méthodologie des systèmes souples de P. Checkland y est proposée. L'objectif est d'aboutir à une méthodologie qui guide les phases initiales des projets peu formalisés, avec pour champ d'applications le problème des projets d'implantation des groupes à l'externalisation (Collaboration avec le Mexique et le groupe coopératif LKSà Mondragone au Pays basque espagnol).
Notons également ici les travaux menés dans le cadre du projet européen Léonardo de Vinci " Economic animator in the enlarging Europa " qui émane d'une idée originelle proposée par le groupe.
Ces derniers travaux s'inscrivent dans le cadre de la préparation des HDR de Ph. Duquenne et A. HAIT.

Management of Innovation and Knowledge Based Management

In the context of PHD Guillermo Cortes Robles thesis and in the context of Stéphane Negny Habilitation, connected with IRIT (Pascale ZARATE habilitation, December 2005) a synergy between TRIZ based proposed methodology and Cased based Reasoning (CBR) has been proposed, implemented and tested (Collaboration in discussion with Delphi-General Motors)
In the same field, studies have been developed (PhD thesis from Leoncio Candia JIMENEZ, 2005) in collaboration with Catholic University from Maulé (chilli), Pr Angelica URRUTIA). It is devoted to the problem of fuzzy knowledge management (Urrutia et al., 2002).. An autopoetic model for tackle this problem has been proposed for the basic knowledge system as well as for the operative system. The field of investigation and experimentation has been devoted to paper manufacturing in the Maule region (Chili).
These studies are in the context of Pascale ZARATE (IRIT-LGC) Habilitation devoted to interactive and cooperative systems for Decision aid – conceptual and analysis aspects-. For these,, an integrated architecture have been proposed based on an unified framework between communication tools, capitalization ones, knowledge based systems and IHM tools.

Conceptual Design and Project management for innovative applications

In this context, Industrial Engineering may be considered as proposing interesting concepts in order to help for better organisation. The concurrent Engineering project management may help for that by focusing very early in the life cycle of a project (or product development) on proper analysis as well as on risk assessment.
This is a self-standing field. It induces an interdisciplinary approach including concepts, tools , models and methods used in the design of an industrial system or in product engineering development.
In this field, pioneering studies at the group level have been done (P. Bonnal PhD thesis, in collaboration with the CERN(Geneva) in order to propose methodologies for manage large projects by concurrent project engineering under the direction of Pr G. LACOSTE.
We have here to enhance the main importance of the sub item management and anticipation of risk analysis in the context of project management. It has been applied to innovative project in the context of pharmaceutical industries as proposed in the PhD thesis from Sophie BOUGARET under the direction of Pr G. LACOSTE in connection with EMAC, Pierre Fabre and Vetoquinol (Gourc et al., 2001, 2003). These studies have been pursued in the Dounia TAZI DEA on Risk project analysis for product and project management
(Collaboration with airbus industry on Final Assembly Line for safety studies including REX Studies).
Another approach based on theory for systems has been proposed in the PHD studies from Alejandro SANDOVAL (collaboration with ISTEM, Tec de Monterrey, Mexico). The theory for systems with the development of methodology for flexible systems proposed

DÉPARTEMENT PSI

3.2 Approches décisionnelles et Organisation des procédés et systèmes industriels

Il s'agit ici de définir et d'effectuer des recherches en vue d'une meilleure réactivité-anticipation, flexibilité, traçabilité dans les processus de la chaîne logistique en vue d'améliorer les processus dans l'entreprise. Ces travaux reposent sur la modélisation, simulation des systèmes et la gestion intégrée des activités. Ceux-ci sont soumis à des contraintes statiques et dynamiques liées à l'utilisation de procédés de plus en plus complexes, à la disponibilité des ressources, à la mise en place et réalisation des projets et processus. Une caractéristique qui perce est la forte composante technologique associée avec une prise en compte de la composante socio-technique (prise en comte des compétences, de la multiplicité des rôles, des interfaces Homme-machine (simulateur)). Les secteurs applicatifs s'orientent préférentiellement sur les industries de transformation de la matière.

Figure 3.1

Ouvrage collectif sur la gestion de production et ressources humaines

Gestion de production et ressources humaines

Deux types de travaux y sont menés de façon concourante : HDR Ph. Duquenne et A. Hait

Les premiers travaux effectués dans le cadre de la thèse d' Edi Kouassi HILAIRE repose sur l'introduction en gestion de production et dans le couplage gestion de projet-production du problèmes d'affectations des ressources avec prise en compte des facteurs compétences, polyvalence, spécialisation,... afin de voir leurs impacts vis-à-vis des techniques classiques de gestion de production.

Une autre série de travaux porte sur la prise en compte dans la gestion de production des aspects technologiques et des aspects plus liées à l'environnement (horaires, congés, qualification, performance, affectation,...) ; Il concerne aussi bien l'industrie des procédés, manufacturière et l'industrie des services. Ces travaux ont été réalisés en collaboration avec l' Ecole Polytechnique de Montréal (Prof P. BAPTISTE) dans le cadre d'un congé de recherche (A. HAIT, 2003-2004), suivi d'une délégation (A. HAIT, 2004-2005) (Baptiste et al., 2005).
Ces travaux ont conduit à l'édition d'un ouvrage collectif d'importance car il apparaît déjà comme une référence dans le domaine investigé. Cet ouvrage a été coordonné par A. Hait qui en a été le co-concepteur et le réalisateur.

Des travaux portant sur l'ordonnancement d'ateliers sous contraintes de ressources énergétiques avec prise en compte des équipements nécessaires à la production mais aussi à l'énergie , pour laquelle la disponibilité ou le mode de consommation peut poser problème ont été dérivés du thème précédent.

by P. CHECKLAND has been proposed. The main goal here is to give a general methodology in order to help for decision at the earlier stage of non conventional projects. The field of application is devoted to the problem of externalization of group or factory in a foreign country (Collaboration with the Mexiiue and MKS Cooperative Corporation from Mondragone, Spain).
We have to notify here interesting studies in the context of European project Leonardo de Vinci "Economic animator in the enlarging Europa, project based on ideas proposed by the group. These last studies are involved in the context of habilitation for Ph. DUQUENNE and A. HAIT

3.2 Methodologies for decision and organization for the process and manufacturing industries

Here, studies are done for better understanding, reactivity, flexibility, tracability in the process and processing for the overall supply chain management in order to enhance enterprise organisation. These studies are based on the modelling, simulation of systems as well as on the integrated management of activities These systems have to face with static and dynamic constraints due to more complexity, resource bottleneck and implementation of project management and manufacturing aspects. A new tendency is the integration inside the technological context of non technological criteria such as the notion of training (competence), the notion of multiple actors or multiple tasks done by only one person, the problem of HIM,....

Production management under human resource considerations

Two types of studies have been developed in a concurrent way.
Some studies (PhD from Edi Kouassi HILAIRE) are devoted to the problem of resource allocation taking into account factors such as competence, multiple action, specific training in the context of manufacturing management as well as in the context of project management. Some other studies are taking into account in the production management technological aspects as well as external aspects coming from the organization environment (planned schedule, vacation and vacancies, qualification and lack of qualification, performance, specific allocation,...); this concerns more particularly the process industry, the manufacturing industries as well as services. These studies have been performed in closed connection with EPM (PR. P. BAPTISTE) by the way of research vacancies (A. HAIT, 2003-2004), and by a special delegation (A. HAIT, 2004-2005) (Baptiste et al., 2005).
These researches have been enlightened in the very recent publication of a reference textbook in the field of production management including Humain resource considerations. This monography, very original in the field has been coordinated by A. Hait who has been the co-designer and the effective manager.
Studies devoted to scheduling under some energy constraints have been also investigated.

Management des Systèmes d'Information intégrés, systèmes d'aide à la décision et systèmes coopératifs (Collaboration avec l'IRIT : HDR Pascale Zaraté)

Les recherches dans ce domaine portent sur l'intégration des outils et méthodologies dérivées des systèmes d'information comme méthodes d'aide à la décision et outils collaboratifs

Dans ce cadre des travaux sont engagés sur le travail coopératif en liaison avec P. Zaraté (MCF en génie industriel effectuant sa recherche à l'IRIT-LGC), ainsi que sur le management des projets informatiques ou de systèmes d'information dans le cadre des nouvelles technologies. Ceci est vu sous l'angle de l'aide à la décision et de leur implémentation au niveau de l'entreprise.
Ces recherches reposent sur l'utilisation des langages de modélisation tels que UML (Unified modelling langage) et UEML (Unified Modelling Enterprise Language), sur l'utilisation des outils de type ERP (Enteprise Resource Planning) et sur l'élaboration d'outils de travail collaboratif et d'aide à la décision (Soubié et al., 2003).

Ces outils de gestion de l'information sont intégrés à l'organisation grâce à des techniques et outils d'aide à la décision. Avec l'introduction des TIC dans les organisations la notion d'entreprise étendue apparaît très clairement et ayant de plus un impact significatif sur les concepts de systèmes d'information et systèmes d'aide à la décision. On définit alors la notion de décision collective voire coopérative avec ses systèmes associés : Systèmes Coopératifs d'Aide à la Décision.
Une autre voie de recherche pour appréhender ce problème s'articule autour de la notion de Méta Système d'information. Cette dernière voie de recherche constitue une des perspectives de nos travaux qui peut être abordée par deux approches : la notion d'ontologie et/ou la notion d'interopérabilité.

Les Systèmes Dynamiques Hybrides (SDH) : Modélisation/Simulation/Optimisation

Il est à noter que ce thème est originellement transversal entre l'équipe AFP et GI et est un des points forts de la synergie AFP/GI. Le groupe AFP s'occupant plus particulièrement des aspects modélisation/simulation et le groupe GI des aspects simulation /optimisation et des aspect continu-discret en vue du pilotage des processus.

L'enjeu scientifique et technologique est d'intégrer l'ensemble des compétences des équipes AFP/GI aussi bien du côté continu que du côté discret (gestion des processus et formalismes de représentation), acquises à travers une vingtaine d'années d'activités dans le domaine de la modélisation et de la simulation des systèmes dynamiques (HDR H. PINGAUD, HDR J. M. LE LANN (1999)) .Ceci s'est concrétisé par le développement d'un simulateur dynamique hybride de procédés continus et discontinus orienté-objet avec intégration en termes de génie logiciel de composants objets encapsulant des codes procéduraux (Base de données Prophy, Solveur EDA d'équations différentielles les et Algébriques Disco) : la plateforme ProDHyS. Cette thématique s'inscrit dans le cadre de la préparation à l' HDR de Gilles HETREUX qui supervise l'en-

Management of Integrated information systems, Aid decision systems and collaborative systems (collaboration with IRIT: Habilitation of P. ZARATE)

Research in this area is devoted to the integration of tools and methods based on information technologies for Aid decision and collaborative work.
These studies are based on the use of advanced modelling (UML, UEML), the use of ERP (enterprise resource planning system) and more precisely on techniques derived from Aid decision system and Collaborative ones (Soubié et al., 2003).
These tools coming from information are integrated in the organization using techniques and tools coming from aid decision system. With the emergency of these new technologies, the notion of extended enterprise has clearly appeared and has a direct impact on the way to work with information based systems. So notion, concepts and tools for global decision as well as cooperative one with the associated systems have to be defined and proposed.
Another axis in order to tackle such problems is based on the development of Meta models for information systems. This track is one possibility and may be tackle using two different or complementary approaches: The use of ontology and/or the use of Interoperabillity.

Hybrid Dynamic Systems (HDS): modelling, simulation and optimization

It should be noticed that this topic is originally transverse between the AFP and GI team and it is one of the main features of AFP/GI synergy. The AFP group deals more particularly with the modelling/simulation aspects, while GI group deals with the simulation /optimisation aspects and the continuous-discrete aspects for the control of the processes.

The scientific and technological challenge is to integrate the competences of the AFP/GI teams as well on the continuous side as on the discrete side (management of the processes and modelling formalisms), acquired since twenty years in the field of modelling and simulation of dynamic systems (HDR H. PINGAUD, HDR J M. LE LANN (1999)). This gave rise to the development of an object oriented hybrid dynamic simulator of continuous and discontinuous processes, with integration in terms of software engineering of object components which encapsulate procedural codes (Data base Prophy, EDA Solver Disco.....). This platform is named PrODHyS. This set of themes lies within the scope of the preparation of the HDR of Gilles HETREUX who currently supervises the whole of integrating works on this object oriented platform and based on the use of UML (Unified Modelling Language).

- ***Hybrid Dynamic Systems: modelling, simulation, Software engineering***

In the framework of the PhD from Jocelyne PERRET, a very particular effort was made to

DÉPARTEMENT PSI

semble des travaux intégrateurs de cette plateforme orientée objet en s'appuyant sur l'utilisation d'UML (Unified Modelling Langage).

- **Systèmes dynamiques Hybrides : Modélisation, Simulation, génie logiciel**

Dans le cadre de la thèse de Jocelyne PERRET, un effort tout particulier a été fait pour intégrer un ensemble de composants logiciels pour permettre de disposer d'une boite à outils pour la simulation des SDH avec des applications aux spécificités rencontrées en génie des procédés (non linéarités, grands systèmes creux,..). Pour répondre à la problématique synergie systèmes continus-systèmes discrets, un formalisme Réseaux de Petri Différentiels Objet (RdPDO) couplé à un solveur EDA a été proposé et investigué. Ceci a été appliqué sur des problèmes de Génie des procédés et en partie utilisé par d'autres chercheurs (Thèse de S. Elgue, en collaboration avec Sanofi et le Prof G. Casamatta, M. Cabassud (LGC-RMS)) ainsi que par les chercheurs du PSI-AFP et du groupe RMS (en distillation réactive) (Elgue et al., 2004).
On peut compter à ce jour plus d'une trentaine de cas d'utilisation des composants de cette plateforme.
Ces travaux se poursuivent dans le cadre de la thèse de Nelly Olivier sur le thème de l'utilisation des SDH et de la plateforme PrODHyS en vue des études de diagnostic et de supervision des systèmes. Une approche intéressante de simulation à rebours des RdPDO (différentiation rétrograde et joueur de RdP) est expérimentée pour résoudre les problèmes de diagnostic. Ceci est réalisé en collaboration avec le LAAS (Groupe DISCO, Prof. M. V. Le LANN).

Figure 3.2.2

Simulation dynamique hybride (PrODHyS)

- **Systèmes Dynamiques Hybrides: Modélisation/Optimisation** (collaboration avec l'Université de Moscou et l'Université de Maribor (Pr Z. Kravanja))

Des recherches sont en cours de développement sur l'optimisation des systèmes dynamiques (avec extension à la problématique des systèmes dynamiques hybrides) en vue du pilotage et de la gestion des processus.(aspect Génie Industriel du problème).
L'idée de base ici est d'étendre les travaux effectués en modélisation/simulation présentés ci-dessus à la problématique de l'optimisation des SDH en vue de la planification des processus, des études de scénarios en gestion de production et de l'incidence sur le pilotage des processus d'entreprise.
Ils s'inscrivent dans le cadre de la thèse de Doctorat d' Anton Mitsiouk, thèse en co-tutelle avec l'université de Moscou (MATI) et en collaboration avec le Pr Z. Kravanja de l'Université de Maribor pour la partie Optimisation).
Ces travaux sont dans la continuité des travaux effectués parallèlement dans la thèse de S. Elgue (groupe Chimie fine, dpt LGC-RMS et une partie des résultats obtenus dans la thèse de MITSIOUK (Couplage Modélisation/Simulation dynamique et optimiseur basé sur une approche SQP ont été utilisés dans la thèse de MARUEJOLS (thèse en collaboration avec le LSGC (Prof A. LAURENT) et le CEA (C. LATGE) portant sur des recherches en sécurité sur la mitigation du risques Hydrogène dans l'industrie nucléaire (projet ITER,...) (Maruejouls et al., 2003).

integrate a set of software components in order to provide a tool box dedicated to the simulation of the HDS, with applications to the specificities met in processes engineering. To answer to the problems of interaction between discrete and continuous systems, the Differential Object Petri Nets (ODPN) formalism coupled to a DAE solver was proposed and developed. This was applied to problems of processes engineering and used by other researchers (PhD from S. Elgue, in collaboration with Sanofi and Prof G Casamatta, Mr. Cabassud (LGC-RMS)) as well as the researchers of PSI-AFP and RMS team (in reactive distillation) (Elgue et al., 2004).
Currently, we count more than thirty cases of use of the components of this platform. These works are carried on within the framework of the PhD from Nelly Olivier. The topic is the use of the PrODHyS platform for the diagnosis and the supervision of the hybrid systems. An interesting approach of retrograde simulation of ODPN (retrograde differentiation and PN player) is tested to solve the problems of diagnosis. This is carried out in collaboration with the LAAS (Group DISCO, Prof M. V. LE LANN)

- ***Hybrid Dynamic Systems: Modelling/Optimization***

(in collaboration with the University of Moscow and the University of Maribor (Pr Z. Kravanja))
Research is under development on the optimization of dynamic systems (with extension to the problems of hybrid dynamic systems) for the control and the management of process. (Industrial engineering aspect of the problem).

Here, the basic idea is to extend the work carried out in modelling/simulation presented above to the problems of optimization for the HDS for the planning of the processes, the studies of scenarios in management of production and the incidence on the driven of the enterprise processes.
They lie within the scope of the PhD from Anton Mitsiouk, PhD in Co-supervision with the university of Moscow (MATI) and in collaboration with Pr Z Kravanja of the University of Maribor for the Optimisation part).

This work is in the continuity of the work carried out in parallel in the PhD of S. Elgue (fine Chemistry team, dpt LGC-RMS and a part of the results obtained in the PhD of MITSIOUK (dynamic Modelling/Simulation Coupling and optimizer based on an approach SQP were used in the PhD of MARUEJOULS (PhD in collaboration with the LSGC (Prof. A. LAURENT) and the CEA (C LATGE) bearing on research in safety on the mitigation of the Hydrogen risks in nuclear industry (project ITER...) (Maruejouls et al., 2003).

Modelling of complex systems and Aid decision systems

It is about the development of research on the frontier between the production management (planning, scheduling...) and the management of systems or industrial plat-

Modélisation de systèmes complexes et Systèmes d'aide à la décision

Il s'agit ici de développement des recherches à la frontière entre la gestion de production (planification, ordonnancement,...) et la gestion de systèmes ou de plateformes industrielles en prenant en compte le management des produit-procédé-processus au cours de leur cycle de vie. Il s'agit ici de développer et de proposer des scénarios de développement durable et des systèmes d'aide à la décision comme l'illustre le projet ci-dessous décrit.

-Modélisation de systèmes complexes – étude de scénarios de développement (DEA de Mathieu Costes- collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique)

Le projet STRATIX du CEA a pour but d'élaborer des solutions à un problème de stratégie concernant le cycle du combustible éléctro-nucléaire. Système d'aide à la décision basé sur des modèles simplifiés des installations, il doit permettre d'élaborer rapidement des scénarios de gestion du cycle sur des horizons allant de plusieurs années à plusieurs dizaines d'années, en revenant sur des choix antérieurs en cas d'échec, ou en explorant des solutions alternatives.
Dans ce cadre, un modèle du cycle de production d'énergie a été développé (avec des représentations simplifiées des installations : mines, usines de fabrication de combustible, réacteurs, stocks, etc), prenant en compte les flux physiques ainsi que des aspects économiques et environnementaux. Par la suite, une étude des relations entre les différents groupes d'intérêts propriétaires des installations du cycle a été menée, en se basant sur la théorie des jeux.

PERSPECTIVES

La ligne de politique scientifique du groupe est :

- en priorité le passage des HDR des jeunes Maître de conférences (HDR Pascale Zaraté prévue le 7 Décembre 2005 ; HDR Alain HAIT et Gilles HETREUX, Philippe DUQUENNE à l'horizon 2006-2007, HDR Stéphane NEGNY à l'horizon 2009-2010.

La notoriété scientifique du groupe passe par ces jalons.

- La participation à la mise en place en accord avec la politique de site du LGC d'une plateforme de recherches Génie Industriel en liaison avec les acteurs du Grand Sud-Ouest (ENI Tarbes, LAAS-CNRS, EMACS, ONERA-CERT, Bordeaux,.....)
- mise en place sous forme d'une plateforme ou d'une ANR sur le management de l'innovation technologique en liaison avec l'INSA Strasbourg et ENSAM de Bordeaux
- Le développement et le renforcement des collaborations engagées (Mexique, Université de Mondragone (pays Basque espagnol)
- d'être moteur au sein du projet européen Leonardo de Vinci : " Economic animator in the enlarging Europa ", 2004-2007 ainsi qu'à la suite de ce projet prévue en 2007-2010

forms by taking into account the management of the product-process-processes during their life cycle. Here, the objective is to develop and provide scenarios of sustainable development and computer decision-making systems as illustrated by the project described below.

- Modelling of complex systems – étude de scénarios de développement (DEA from Mathieu Costes- in collaboration with the Commissariat à l'Energie Atomique)

The purpose of project STRATIX of the CEA is to work out solutions with a problem of strategy concerning the electro-nuclear combustible cycle. Computer aided decision-making system based on simplified models of the units, it has to make possible the establishment of scenarios of management of the cycle on horizons of several years to several tens of years, while reconsidering former choices in the event of failure, or by exploring alternative solutions.

In this framework, a model of the energy production cycle was developed (with simplified representations of the installations: mines, combustible manufacturing, engines, stocks, etc), with taking into account physical flows as well as economic and environmental aspects. Thereafter, a study of the relations between the various lobby owners of the installations of the cycle was undertaken based on the game theory.

PERSPECTIVES

The main objectives for future in the group are the following ones:

- *To get the Habilitation degree for most of the young associated professors in the group (Habilitation for Pascale ZARATE, 7 december 2005, Habilitation for Alain HAIT, Gillles HETREUX, Philippe DUQUENNE planned to be for 2006-2007, Habilitation for Stéphane NEGNY planned to be for 2009-2010).*
- *The active participation under the scientific policy of LGC to a research net in the field of Industrial Engineering in the Aquitaine-Midi Pyrenees region including ENIT, LAAS-CNRS, EMAC , ONERA-CERT, Bordeaux,...*
- *The establishment of a research net or ANR on the management of Innovation in connection with INSA Strasbourg and ENSAM Bordeaux*
- *The development and increase of different collaborations (Mexique, Mondragone/MKS university,...)*
- *To be leader and very active in the European Leonardo De Vinci project :"Economic Animator in the enlarging Europa", 2004-2007 as well as in the future project to be applied (2007-2010)*

DÉPARTEMENT Réaction Mélange Séparation (RMS)

DEPARTMENT Reaction Mixing Separation

1. Dépollution, Procédés propres
Pollution treatment, clean processes

2. Procédés intensifiés, sécurité
Process intensification, safety

3. Microréacteurs
Microreactors

4. Ingénierie des réacteurs
Reactor engineering

5. Génie des systèmes microbiens
Microbial system engineering

Les thèmes scientifiques traités dans le département RMS recouvrent un domaine assez large : agitation, réactions chimiques et biologiques et séparations. Les secteurs d'applications concernés sont vastes et évoluent avec le temps : de l'industrie chimique et pétrochimique, vers la chimie fine, la pharmacie, l'environnement, la biotechnologie, l'agroalimentaire.
Aussi, les milieux traités sont des milieux complexes, souvent polyphasiques, parfois visqueux. Ces milieux évoluent, puisqu'ils sont le siège de réactions chimiques et biologiques. Les réactions sont souvent multiples et compétitives et on observe de nombreux couplages entre phénomènes physiques et chimiques.

Si l'ingénierie des réacteurs reste un point fort du département, nous avons développé de nombreux travaux dans le domaine de l'intensification des procédés (appareils multifonctionnels, nouvelles méthodes d'activation énergétique de procédés physiques et chimiques (ultrasons), ...) et du développement et de la caractérisation de micro-réacteurs. Les contraintes **sécurité et environnement** ont pris une importance croissante dans nos études ce qui se traduit d'une part par le développement de procédés de remédiation (dégradation de polluants, dépollution d'effluents liquides, des sols ...) mais aussi par la conception de procédés plus propres (fluides supercritiques, ...) et plus sûrs.

Le premier point fort du département est de s'intéresser à ces **milieux réels,** dans toute leur complexité, en faisant appel à des technologies spécifiques et à une approche multidisciplinaire. L'expérimentation est une étape incontournable et elle nécessite des métrologies variées. D'une part, la métrologie physique optique in situ (anémométrie laser, PIV, granulométrie, sondes optiques) permet de tracer des cartographies d'appareils. D'autre part, des analyses physiques et chimiques après prélèvements (chromatographies, spectrophotométrie, TOC, ATPmétrie, viscosimétrie, ..) sont mises en œuvre pour caractériser parfaitement le milieu réactif traité.

Le deuxième point commun à toutes nos recherches est l'échelle du procédé que nous étudions. Même si nous couvrons des échelles très variées, de la molécule à l'atelier, c'est clairement l'échelle de l'**appareil** que nous privilégions : cuve d'agitation, réacteur catalytique ou réacteur batch, micro-réacteur, fermenteur, colonne de distillation, d'extraction ou d'absorption,... Nos objectifs sont la conception, l'optimisation et l'extrapolation de cet appareil, puis son contrôle et sa conduite. Dans de nombreux cas, des expériences à plus petite échelle sont développées afin de découpler les phénomènes et de mieux appréhender une étape limitante (transfert entre phases, cinétique catalytique ou biologique..). L'objectif principal de nos études reste la maîtrise de l'opération, de l'appareil et de sa technologie.

Le troisième point commun à nos différentes recherches est la **modélisation** que nous associons à toute expérimentation. La modélisation développée utilise classiquement des représentations phénoménologiques et globales d'appareils. Les systèmes polyphasiques sont décrits par des modèles pseudo-homogènes, incluant les transferts entre phases, par des bilans de populations, ou par des modèles de type Lagrangien ou Eulérien. La complexité des milieux réactionnels impose un raffinement des modèles pour traduire les transferts réactifs (Maxwell-Stefan), la diffusion et le mouillage des catalyseurs solides, les cinétiques de réactions multiples. Les évolutions de la métrologie et des connaissances conduisent au développement de modèles locaux (CFD) résolus à l'aide de codes commerciaux (Fluent, Astrid, ..) que nous adaptons à nos systèmes réactionnels.

The scientific themes studied in the RMS department cover a large domain, including mixing, chemical and biological reactions, as well as separations. The fields of application are numerous, ranging from the chemical and petrochemical industries to fine chemicals, pharmaceuticals, enviroment, biotechnology and food industry.

The media under study are complex, often multiphase and sometimes viscous. In addition, these media change with time, due to chemical or biochemical transformations. The reactions are often numerous and competitive with coupled physical and chemical phenomena.

While Reactor Engineering is still an important activity, a lot of work has been carried out in the field of process intensification (multifunctional reactors, new methods for chemical and physical process activation e.g. ultrasounds ...), as well as in the development and characterisation of micro-reactors. Safety and environmental constraints have been increasingly considered in our works, which leads to the development of waste treatment processes (degradation of pollutants, liquid effluents and soil treatment ...) but also cleaner and safer process design.

The first highlight of the department is to consider the actual media in its entire complexity, using specific technologies and a multidisciplinary approach. Experimentation is a necessary step and requires varied measurement equipment. In situ optical physical probes (laser Doppler velocimetry, PIV, particle sizers, optical probes) enable local information to be obtained. In addition, various methods of chemical and physical analysis after sampling (chromatography, spectrophotometry, TOC, ATP, viscosimetry, ...) are used to perfectly characterise the reactive media under study.

The second common point is the scale at which the process is studied. While various scales are considered, from the molecular to the industrial scales, we clearly focus on the equipment scale: stirred tanks, catalytic or batch reactors, absorption, distillation or extraction columns ... Design, optimisation, scale-up and then process control are our main objectives. In some cases, experiments at the lab scale are carried out to dissociate phenomena and better understand the limiting step (transfer between phases, catalytic or biological kinetic ...) of the process. The main goal of our studies is to control the operation, the apparatus and its technology.

The third common point is modelling, which is closely linked to the experimental studies. Classical global and phenomenological representations are used to model the equipment. Multiphase systems are described by pseudo-homogeneous models, taking into account mass or heat transfer between phases, or by using either population balances, Lagrangian or Eulerian models. The complexity of reacting media is included in the models in order to fully describe the reactive transport processes (Maxwell-Stefan), the diffusion and wettability of solid catalysts, and the kinetics of multiple reactions. The combination of advanced experimental techniques and a better comprehension of the phenomena have lead to the development of local models resolved by commercial CFD software (Fluent, CFX, Astrid, ...), which are adapted to such reacting systems.

I. Dépollution, procédés propres

1. Pollution treatment, clean processes

Marion Alliet,Caroline Andriantsiferana, Jean-Paul Canselier, Jean-Stéphane Condoret, Henri Delmas, Christophe Gourdon, Carine Julcour, Michel Meyer, Yolande Peres-Lucchese, Martine POUX, Anne-Marie WILHELM, Catherine XUEREB

Le respect de l'environnement est aujourd'hui une nécessité omniprésente qui implique le développement de procédés curatifs et la conception de procédés intrinsèquement propres. Ces procédés font appel aux différentes compétences du département RMS : agitation-dispersion, réaction catalytique, extraction liquide-liquide ou solide-liquide. Les procédés curatifs étudiés ici concernent principalement le traitement d'eau polluée par des composés organiques ; quant aux procédés intrinsèquement propres, ce sont les procédés mettant en œuvre le CO2 supercritique qui ont été étudiés. Les critères de qualité de l'eau (respect des normes légales) et d'économie du procédé seront déterminants ; afin de prendre en compte les spécificités physiques et chimiques de chaque effluent, des campagnes de traitement d'effluents réels s'avèrent toujours indispensables. L'originalité des procédés proposés a souvent amené au dépôt de brevets, le développement de ces procédés impliquant aussi des partenaires industriels ou institutionnels.

The respect of environment is nowadays a world-wide requirement which implies the development of new curative processes and the design of intrinsically clean processes. These processes call on the different competences of the RMS department: mixing-dispersion, catalytic reactions, liquid-liquid and solid-liquid extraction. The remediation processes studied here, apply mainly to wastewater treatment (water polluted by organics), whereas the topic of clean processes will be illustrated by different applications of supercritical CO2. The criteria of water quality (respect of legal norms) and economy are decisive; in order to take into account the physical and chemical specificities of the effluents, essays with real wastewaters are necessary. The novelty of these processes led to the registration of patents, with a development involving industrials and national agencies.

I.1 Traitement de l'eau : aération des bassins de traitement d'eau

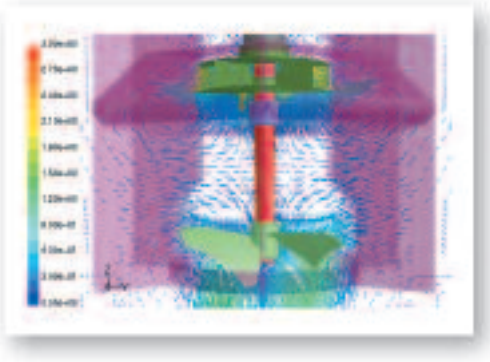
L'injection d'oxygène pur directement dans les bassins de traitement des eaux permet d'accélérer le processus naturel d'épuration bactériologique de l'eau. Cette solution est à la fois simple dans sa mise en œuvre et séduisante sur les plans de l'environnement, économique et technique. Le Turboxal commercialisé par Air Liquide a une double fonction : assurer la dispersion de l'oxygène dans le milieu et un brassage correct.
Notre investigation (thèse de Rodolphe Sardeing co-financée CNRS/Air-Liquide, 2002) a consisté à améliorer les performances de cet appareil en termes de quantité de gaz injecté et de transfert de matière. Via une double voie d'étude, expérimentale sur une maquette de laboratoire, et numérique, le comportement hydrodynamique de ce système de géométrie complexe a été cerné (Sardeing et al., 2003). Peu d'améliorations ont pu être apportées à l'existant en modifiant le positionnement des différentes parties du système. La simulation numérique réalisée avec le code Fluent, en phase liquide, validée, a servi d'outil à la prédiction des performances de plusieurs mobiles de géométrie innovantes pour l'introduction et la dispersion du gaz. Les designs retenus ont subi des tests expérimentaux pour les qualifier en terme de demande énergétique, de mise en circulation du fluide, de débit admissible, d'aptitude à la dispersion du gaz via le coefficient de transfert. Une des géométries s'est avérée particulièrement intéressante et est venue se substituer à deux mobiles présents sur le Turboxal, simplifiant ainsi sa construction et donnant naissance au Turboxal 2 (Sardeing et al., 2005). En conservant une demande énergétique identique, le débit admissible a été augmenté de 120% ce qui a entraîné un gain en transfert de 25% sur la maquette de laboratoire. Ces performances ont été maintenues voire augmentées sur l'appareil à l'échelle industrielle. Répondant ainsi aux objectifs d'Air Liquide, ce travail a fait l'objet de deux dépôts de brevets (Melen et al., 12 mars 2002 ; Avriller et al., 2 avril 2004) et a reçu le prix des Techniques Innovantes pour l'Environnement, dans la catégorie Dépollution de l'eau, décerné par l'ADEME au salon Pollutec en Décembre 2004.

1.1 Water treatment: aeration of wastewater biological treatment tanks

The introduction of pure oxygen directly in wastewater biological treatment tanks is useful to accelerate the process of the natural bacterial removal of the water. This solution is easy to implement and is interesting on the environment, economical and technical aspects. The Turboxal, apparatus marketed by Air Liquide has a double function : first, to disperse the oxygen into the liquid and then to develop a well mixing.
Our investigation area (reported into the Rodolphe Sardeing's doctorate thesis with the financial support of Air Liquide and CNRS and presented on the 13th December 2002) has consisted in the improvement of the performances of this system in terms of the quantity of gas injected and of the mass transfer. By means of a double approach, an experimental one on a pilot plant and a numerical one, the hydrodynamic behaviour of this system which presents a complex geometry has been discovered (Sardeing et al., 2003). Few improvements have been obtained on the apparatus by modifying the relative positions of the different elements (a turbine and two impellers) of the system. The numerical simulation carried out with the code Fluent in single phase flow has been used as a tool to predict the performances of some impellers with new designs for the introduction and the dispersion of the gas. Then, the selected new impellers have been tested experimentally and they have been qualified in terms of power demand, of the ability to circulate the flow, of gas flow rate, the capability to disperse the gas by the way the mass coefficient transfer. One of the new design turbines has presented very interesting performances. It has also the advantage to simplify the system because it replaces two different impellers. In the system equipped with this new design turbine, called Turboxal 2, the gas flow rate was increased of 120 % while keeping the same power consumption and the mass coefficient transfer was increased of 25 % on the pilot

DÉPARTEMENT RMS

I.2 Traitement d'eau polluée par des produits organiques toxiques ou non biodégradables par un procédé séquentiel adsorption-oxydation catalytique (AD-OX)



Simulation numérique des écoulements dans le système à l'aide du code de calcul Fluent

Après de nombreux travaux sur l'hydrogénation sélective de triène (Julcour et al., 2001 et 2002 ; Dietz et al.2003 ; Stuber et Delmas, 2003) nous avons continué l'étude des réacteurs triphasiques en oxydation catalytique sur charbon actif en voie humide (WCAO) de polluants organiques dans les eaux usées.
Le premier objectif était ici aussi de trouver les conditions opératoires optimales et en particulier de comparer l'écoulement ascendant et descendant de gaz (air) et de liquide (eau usée) à travers le lit fixe de catalyseur. Les travaux ont également porté sur la cinétique réactionnelle (Stuber et al. 2001) et les capacités d'adsorption du charbon actif. La très forte capacité d'adsorption du phénol par le charbon nous a conduit à proposer un nouveau procédé séquentiel (brevet INPT 26 juin 2001) d'adsorption à froid et de régénération par oxydation catalytique à chaud.
Les avantages du procédé séquentiel sont clairs (Pollaert et al., 2002):
1-par rapport à l'adsorption classique la pollution non biodégradable est éliminée in situ par l'oxydation, alors que la régénération classique ex situ et à très haute température ne fait que l'isoler avant combustion.
2-par rapport à l'oxydation catalytique classique :
* seule une très faible partie de l'effluent est chauffée (surtout en cas de polluant dilué)
* l'oxydation ne doit pas produire une eau à la norme mais seulement éliminer l'essentiel du polluant adsorbé sur le C A. Ceci ajoute beaucoup de souplesse en permettant d'envisager des traitements d'effluents à composition, concentration et débit variables.
Le problème essentiel est la durée de vie du charbon actif qui dépend des conditions d'oxydation (température, taux de mouillage du catalyseur...). Les études nécessaires sont assez fastidieuses (répétabilité du cycle AD-OX) et sortent du cadre de la recherche académique; aussi des projets de recherche incluant le CRITT et en collaboration industrielle (SARP-Veolia en projet Riteau), et /ou subventionnée (ANVAR) sont déposés.

L'optimisation économique, grâce à des modèles d'adsorption et d'oxydation catalytique est en cours. Du point de vue réacteur triphasique en oxydation continue, la thèse de Suwanprasop (2005) a montré des différences significatives liées à l'échelle des réacteurs et au mouillage partiel du catalyseur (phénomène que nous étudions par ailleurs pour l'IFP). La modélisation complète du réacteur triphasique est réalisée mais se heurte au nombreux paramètres physiques mal prédits (hydrodynamique et transferts de matière et de

plant. At the industrial scale, these results have been maintained and sometimes increased. The objectives of this study have been reached and two turbines with a new design have been patented (Melen et al., March 12 2002; Avriller et al., April 2 2004). This work has been awarded at the Pollutec Exposition in December 2004 in the category " New techonologies for the environment: water pollution control ".

1.2 Treatment of wastewater containing toxic or non-biodegradable organics by a sequential process: adsorption - catalytic oxidation

After a series of works on the selective catalytic hydrogenation of a triene (Julcour et al., 2001 and 2002; Dietz et al. 2003; Stüber and Delmas, 2003), the study of three-phase reactors was carried on with catalytic wet air oxidation of wastewater on activated carbon.
The first objective was to find the optimum operating conditions, to compare co-current up- and down-flows of liquid (wastewater) and gas (air) through the fixed bed of catalyst. The reaction kinetics and the activated carbon adsorption performances have also been investigated. The very high adsorption capacity of activated carbon led to the development of a new sequential process (INPT patent, 26 June 2001) involving room temperature adsorption, and high temperature regeneration by catalytic oxidation.
The advantages of this two-step process are obvious (Pollaert et al., 2002):
- compared to classic adsorption, non-biodegradable pollution is eliminated in-situ by oxidation, whereas usual thermal ex-situ regeneration only isolates pollution before combustion.
- compared to classic catalytic oxidation, only a very small fraction of wastewater is heated (mostly in the case of diluted pollution) and oxidation is not supposed to yield water to the legal norms but only to eliminate most of the adsorbed contaminants. This brings flexibility by allowing to process wastewaters with different compositions, concentrations and flowrates.
The key factor is the life of the activated carbon, which depends on the operating conditions : temperature, wetting efficiency, ...The required experiments (repeated Adsorption-Oxidation cycles) will be rather long and tedious and fall out of the frame of academic research ; therefore, applied research projects have been proposed, involving the CRITT, in collaboration with industrials (SARP- Veolia in the RITEAU project) and/or national agencies (ANVAR).

chaleur) qui s'ajoutent à la cinétique chimique étudiée séparément. En oxydation continue, la stabilité de l'activité catalytique est assurée à température modérée (140°C) mais pas au delà.
Les travaux actuels (thèse de Creanga, en cours) concernent l'acide hydroxybenzoïque, polluant type des margines (pollution de l'industrie de l'huile d'olive) dans le cadre de l'ACI dépollution- non pollution (avec l'IRC-CNRS et le LIPE-INSA) où nous abordons également l'adsorption multiconstituants. Les prochaines cibles sont des pesticides et insecticides. Enfin l'utilisation de charbon actif issu de pyrolyse de boues activées est incluse dans un programme STREP qui doit débuter en 2005.

I.3 Purification d'effluents par extraction à deux phase aqueuses

Au-delà d'une température appelée " point de trouble " (TC) les solutions aqueuses de la plupart des tensioactifs non ioniques polyéthoxylés se séparent en deux phases liquides : le coacervat, riche en tensioactif, et la phase diluée. Grâce à la solubilisation micellaire de composés hydrophobes, amphiphiles ou même ioniques et à leur concentration dans le (faible) volume de coacervat, une extraction à deux phases aqueuses (extraction par point de trouble ou par coacervat) peut être réalisée et appliquée à la purification d'effluents ou à la récupération de substances à haute valeur ajoutée.
Une première partie de ce projet consiste à modéliser et à prévoir les courbes de démixtion, à étudier le mécanisme gouvernant le transfert de matière, la cinétique de séparation des phases et leur clarification. Les courbes de point de trouble ont été analysées à l'aide du modèle de Flory-Huggins-Rupert (décrivant la séparation de phases dans les solutions de polymères et adaptée aux alcohols éthoxylés en tenant compte de leur structure chimique). Ce modèle a pu être appliqué à un tensio-actif industriel (mélange d'espèces éthoxylées) (thèse de B. Haddou, 2003) et à un système ternaire eau/tensio-actif/soluté (thèse de K. Teixeira da Silva de la Salles, 2004). L'étude cinétique de l'évolution des mélanges troubles H20/Triton X114 vers l'équilibre, conduite au moyen du Turbiscan Lab Expert (transmission de la lumière), comporte deux phénomènes distincts au-dessus de TC : la séparation des phases (stabilisation de l'interface) et leur clarification ; dans certaines conditions cette dernière fait apparaître des phénomènes oscillants (K. Teixeira da Silva de la Salles, 2004).
La deuxième partie du travail concerne l'extraction de polluants solubles (solutés organiques : phénol, alcools et amines aromatiques, et électrolytes : Ni++, Cd++, Pb++, Cr3+, Mo042-) à partir de solutions modèles, ou dispersées, provenant d'effluents industriels (huiles de coupe "minérales" pour le travail du granit, fluides pollués par des encres de sérigraphie) par des alcohols éthoxylés (CiEj), facilement biodégradables (thèse de B. Haddou, 2003). La phase aqueuse polluée et la solution de tensio-actif sont mélangées et séparées à une température dépendant de la position du point de trouble. En utilisant un plan d'expériences et un lissage empirique des courbes, on cherche le meilleur compromis entre pourcentage de soluté extrait (parfois supérieur à 95%) et fraction volumique de coacervat, à réduire au minimum (un polluant plus concentré étant plus facile à traiter). Des corrélations linéaires entre le coefficient de distribution,

The economic optimisation of the two-step process is in progress, involving adsorption and catalytic oxidation models. The three-phase continuous oxidation reactor has been investigated by Suwanprasop (PhD thesis, 2005), pointing out the differences induced by the reactor scale and by the partial wetting of the catalyst (this subject is studied besides for IFP). The complete modelling of the three-phase reactor has been carried out but involves numerous physical parameters still difficult to predict (hydrodynamics and mass and heat transfers) in addition to the kinetic parameters that are studied independently. As for the continuous oxidation, the stability of the catalytic activity has been demonstrated at moderated temperatures (140°C) but not beyond.
The ongoing works (Creanga PhD thesis) deal with the processing of hydroxybenzoic acid, pollutant present in the olive oil production, in the frame of the 'Non-pollution' ACI with IRC-CNRS and LIPE-INSA, where the multi-component adsorption is also studied. The next targets are pesticides and insecticides. Finally, the use of activated carbon issued from the pyrolysis of activated sludge will be investigated in a STREP program which will begin in 2005.

1.3 Effluent purification by two-aqueous phases extraction

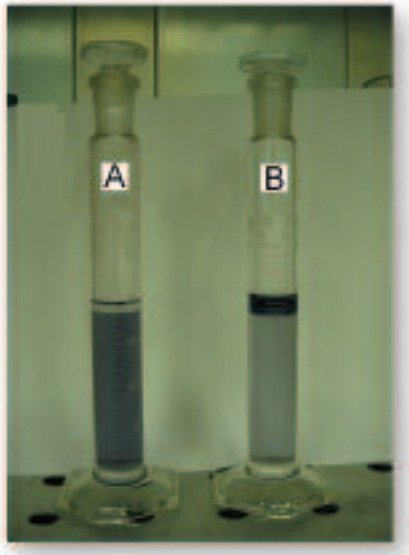
Above a certain temperature called "cloud point" (TC), aqueous solutions of most of the polyethoxylated nonionic surfactants lead to liquid-liquid phase separation: a surfactant-rich phase (coacervate) and a dilute phase appear. Thanks to the micellar solubilization of hydrophobic, amphiphilic or even ionic compounds and their concentration in the (small) volume of coacervate, two-aqueous phase extraction ("cloud-point" or "coacervate extraction") can be performed and applied to effluent purification or valuable substance recovery.
A first part of this project consisted of modelling and predicting the cloud point curves, investigating the mechanism controlling the mass transfer between phases as well as the kinetic phenomena related to phase separation and clarification. Cloud point curves were analyzed using Flory-Huggins-Rupert's model (describing phase separation of polymer solutions and adapted to alcohol ethoxylates, taking their chemical structure into account). This model could be applied to a commercial surfactant (mixture of ethoxylated species) (B. Haddou PhD thesis, 2003) and to a ternary (water/surfactant/solute) system (K. Teixeira da Silva de la Salles PhD thesis, 2004).
The kinetic study of the evolution of turbid H20/Triton X114 mixtures towards equilibrium, carried out by means of the Turbiscan Lab Expert (light transmission) lets appear two distinct phenomena above the cloud point: phase separation (interface stabilization) and phase clarification, showing oscillatory phenomena under certain conditions (K. Teixeira da Silva de la Salles PhD thesis, 2004).

DÉPARTEMENT RMS

$K_{Coacervat}$/Diluée, et le coefficient de partage octanol/eau (exprimé par log P) montrent que l'extraction par coacervat est principalement gouvernée par l'hydrophobie du soluté. Des essais de séparation de solutés ne montrent pas de synergie. L'hydrophobie des solutés et de faibles concentrations en tensio-actif favorisent les séparations (thèse de L.J.N. Duarte, 2005).

Plus spécifiquement, pour les huiles de coupe, le procédé permet aussi le lavage de la phase solide (dépollution des sols). L'extraction par point de trouble de polluants dispersés peut réduire jusqu'à 40 fois la demande chimique en oxygène (DCO) en un seul contact (thèse de B. Haddou, 2003).

A la suite de ces travaux de recherche, nous avons entamé un transfert de technologie vers différents secteurs industriels, en proposant le Procédé EXT.A.S.E. (Extraction en Absence de Solvant pour Effluents industriels aqueux). L'innovation réside dans l'exploitation du point de trouble dans un but productif (dépollution ou récupération de substances à haute valeur ajoutée) et dans le caractère modulable du procédé selon les besoins et les normes en cours.



Essais d'extraction du nitrate de chrome (III): A. Coacervat peu solubillisant ; B. Extraction efficace

I.4 Amélioration de la formulation des huiles de forage

Les principaux sujets de ce travail sont : les performances des tensio-actifs dans les boues de forage consistant en émulsions inverses, l'instabilité des argiles lors du forage et de la caractérisation en laboratoire et le traitement des bourbiers. Concernant le premier point, un mélange de tensio-actifs (ionique et nonionique) augmente nettement le rendement de l'émulsification et la stabilité de l'émulsion, mais une émulsification totale ne peut être atteinte sans additifs de formulation. Deuxièmement, les capacités d'échange de cations des argiles varient notablement selon le traitement préliminaire pratiqué (lavage, chauffage). Finalement, l'addition de nouveaux ingrédients biodégradables dans la formulation des boues de forage est essentielle pour des raisons environnementales et économiques (thèse de M. Khodja, en cours).

I.5 Procédés et réactions 'propres' en CO2 supercritique

Nous développons au sein du laboratoire la technologie des fluides supercritiques, en privilégiant l'utilisation du CO2, car de tels procédés deviennent alors intrinsèquement "propres". Jusqu'à présent de telles actions ne considéraient que la partie séparation-purification des procédés (extraction et chromatographie supercritiques). On peut cependant penser construire tout le procédé autour du CO2, comme solvant de la réaction ou même réactif. La séparation post réactionnelle est alors basée de facto sur les propriétés du CO2 supercritique.

The second part of the work involved the extraction of soluble (organic solutes: phenol benzenoid alcohols and amines, and electrolytes: Ni++, Cd++, Pb++, Cr3+), from model solutions or dispersed pollutants from actual industrial effluents ("mineral" cutting oils for granite processing, fluids polluted by serigraphy inks) with polyethoxylated alcohols (CiEj), readily biodegradable (B. Haddou PhD thesis, 2003). The polluted aqueous phase and the surfactant solution were mixed together and separated at room temperature or after heating, according to the cloud point curve of the surfactant. Using an experimental design and an empirical curve fitting procedure, the best compromise is searched for between the percentage of solute extracted, possibly higher than 95 %, and the coacervate volume fraction, which must be kept to a minimum (more concentrated pollutant easier to process). Linear relationships between the distribution coefficient of the solute, $K_{Coacervate}$/Dilute, and the octanol-water partition coefficient (expressed as log P) are obtained. Coacervate extraction is thus mainly controlled by solute hydrophobicity. Attempts of solute separation do not show synergetic effects. Higher solute hydrophobicity and lower surfactant concentration improve separation performances (L.J.N. Duarte PhD thesis, 2005).

More specifically, in the case of cutting oils, the procedure also allows washing of the solid phase (soil remediation). Hence, the cloud point extraction of a dispersed pollutant (cutting oil, serigraphy ink) allows a ca 40-fold reduction of the chemical oxygen demand (COD) (B. Haddou PhD thesis, 2003).

1.4 Improvement of drilling fluid formulation

In this work (M. Khodja PhD thesis), three main issues are addressed: surfactant performances in drilling muds consisting of reverse emulsions, shale instability in drilling and laboratory characterization, and subsequent waste management. As regards the first point, a mixture of surfactants (ionic and nonionic) strongly improves emulsification yields and emulsion stability but complete emulsification was never reached in the absence of formulation additives. As for the second topic, strong differences in the cation exchange capacity of shale appear as a function of preliminary washing and heating procedures. Finally, the addition of new biodegradable ingredients in the formulation of drilling fluids is essential for environmental reasons and treatment cost reduction.

Extraction de substances naturelles par fluide supercritique
C'est le domaine où la technologie des fluides supercritiques a eu le plus d'applications jusqu'à présent. Nous avons étudié l'extraction d'un produit insecticide naturel, globalement identifié sous le nom de pyréthrines (thèse H. Kiriamiti, 2003). Nous avons mis au point une extraction directe au CO2 supercritique, intégrant la phase de raffinage dans la phase de décompression étagée des extraits. L'intérêt réside dans le fait de profiter de la possibilité de fractionnement post extractif, caractéristique connue mais peu exploitée de la technologie des fluides supercritiques. Nous avons également proposé une procédure, peut être plus rapidement acceptable économiquement, de purification de l'extrait hexanique par CO2 supercritique.

Modélisation du fractionnement par cascade de pression
En collaboration avec la société Air liquide (post doc de S. Camy) nous avons développé une modélisation de la séparation CO2–cosolvants dans une séquence de séparateurs cycloniques, où l'efficacité hydrodynamique de ces séparateurs de phase est prise en compte par des paramètres identifiés expérimentalement.

Synthèse assistée par des métaux de transition
Les métaux de transition sont inclus dans une structure macrocyclique et l'ensemble est utilisé pour catalyser la réaction de couplage entre le CO2 et un réactif organique. Différents métaux et conditions opératoires sont testés dans le cadre de la synthèse du carbonate de diméthyle à partir de méthanol.
2 MeOH + CO2 –> (MeO)2CO + H2O où l'on se propose d'utiliser le fluide supercritique comme solvant et réactif ce qui constitue un avantage supplémentaire et justifie ce choix.

Electrosynthèse sous haute pression de CO2
La même approche peut être appliquée à la mise en œuvre de réactions électrochimiques (thèse de S. Chanfreau, 2005). Un réacteur électrochimique sous CO2 supercritique a été conçu et est opérationnel au laboratoire pour réaliser la carboxylation du chlorure de benzyle. Comme nous l'avions présenté en introduction, un des atouts d'un tel procédé est également la facilité de séparation des produits.

Oxydation de polysaccharides en mélange CO2-NO2 sous pression
C'est le domaine le plus récent et le plus prometteur à l'heure actuelle. En collaboration avec le Centre de Recherche des Macromolécules Végétales de Grenoble (CERMAV, Unité propre du CNRS) nous avons développé une technologie d'oxydation de la cellulose et plus généralement des polysaccharides. Un brevet commun (brevet N° 0408402) a été déposé en juillet 2004 et son développement est en cours.

1.5 Processes and reactions in supercritical CO2

Supercritical technology is developed in the laboratory, and especially the use of supercritical carbon dioxide, because such processes are intrinsically clean processes. Up to now such approaches were only focused on the separation or purification steps (extraction or supercritical chromatography), while we now propose to organize the whole process (reaction separation pre-treatment) around the use of supercritical carbon dioxide. That could be for instance to use it as the reactional solvent, and even as a reactant. Besides the post reactional separation is de facto based on the properties of supercritical CO2.

- Natural product extraction

This is the domain where most applications have proposed and developed at industrial scale. In our lab, we have studied the extraction of a "natural" insecticide, essentially termed pyrethrins (H. Kiriamiti PhD thesis, 2003). We proposed the direct CO2 extraction that preserves the "natural" label of this product. Furthermore we have proposed an integrated purification in the depressurization steps. Here, use of the fractionation potential of CO2 is an interesting, but rarely developed, feature of the supercritical technology. The CO2 purification of conventional hexanic extracts was also studied, that offers a more realistic alternative on an economical point of view.

- Processing and cleaning of polymers

Up to now, this activity has been mainly undertaken through industrial confidential contracts, especially with several companies in the biomedical domain

Modelling of fractionation through sequential depressurization steps

This study was done in collaboration with Air Liquide company (post doc of S. Camy) and we developed the modelling of the fractionation of a cosolvant-CO2 mixture, through a set of cyclonic separators, whose hydrodynamic efficiency was accounted by experimentally fitted parameters.

- Transition metal assisted synthesis

Transition metals are inserted in a macrocyclic structure that is likely to catalyze coupling reaction between CO2 and organic reactants. Several metals, under a set of operating conditions, are tested for the synthesis of dimethylcarbonate MeOH + CO2 –> (MeO)2CO + H2O where supercritical CO2 is used as a solvent and a reactant.

- Electrosynthesis at high CO2 pressure

Carboxylation reactions are considered here and a specific electrochemical reactor was designed to perform the electrochemical carboxylation of benzyl chloride (S. Chanfreau PhD thesis, 2005).

- Polysaccharide oxidation by CO2-NO2 pressurized mixture

This activity is one of the most promising. In collaboration with the Centre de Recherche des Macromolécules Végétales of Grenoble (CERMAV, a CNRS unit), we developed a technique to oxidize cellulose, and more generally polysaccharides. A patent has been jointly filed in July 2004, whose development is in progress.

2. Procédés intensifiés, sécurité

2. Process intensification, safety

Caroline Andriantsiferana, Michel Cabassud, Gilbert Casamatta, Patrick Cognet, Henri Delmas, Nadine Gabas, Christophe Gourdon, Michel Meyer, Laurent Prat, Michel Prévost, Berthe Ratsimba, David Rouzineau, Anne-Marie Wilhelm

L'intensification des procédés est une stratégie de développement de nouveaux équipements et de nouvelles méthodes de conception qui vise à diminuer de façon drastique le rapport taille des équipements sur capacité de production, dans un objectif de gains de productivité, de sécurité de fonctionnement et de respect de l'environnement. Traditionnellement, intensifier un procédé passe soit par la mise en oeuvre dans un même appareil des fonctions réaction – séparation ou réaction –échange, soit par le dessin d'appareils permettant d'amplifier d'un ou plusieurs ordres les cinétiques des mécanismes fondamentaux de transferts (matière, chaleur, mouvement), soit par une combinaison des deux. Dans le premier cas, on parle de multifonctionnalité, dans le second d'intensification des transferts. Nous allons décliner dans ce qui suit ces deux aspects, ainsi que leur association dans les exemples traités durant la période 2002 – 2005.

2.1 Distillation réactive

Les attendus de l'association au sein d'un même appareil des fonctions " réaction " et " séparation " sont nombreux : augmentation de la conversion, de la sélectivité, déplacement de l'équilibre, intégration énergétique... La distillation réactive en est aujourd'hui l'exemple emblématique. Malgré ses nombreux avantages, la distillation réactive n'est pas encore une alternative assez systématiquement prise en compte lors de la phase de conception d'un procédé. La faible diffusion de cette technologie prometteuse est sans doute liée au manque d'outils généraux de conception capables de répondre à des questions aussi variées que : l'objectif de production est-il atteignable ? Avec quel design ? Où se trouve la zone réactionnelle ? Y a-t-il des zones purement séparatives et où ? Avec quelle technologie et quelles dimensions ? Avec quels paramètres opératoires ?

Afin de développer de tels outils, une collaboration étroite avec nos collègues du département PSI du LGC a été nécessaire et ainsi quatre axes de recherche ont été conjointement explorés : la modélisation mathématique et la simulation des phénomènes mis en jeu, la conception optimale de la colonne avec des contraintes de contrôlabilité, de productivité, de sécurité et d'environnement, la validation expérimentale de l'ensemble de ces aspects sur des procédés pilotes et la mise en œuvre d'internes de colonnes catalytiques. Dans la suite de ce chapitre, nous développons de façon plus spécifique, les travaux réalisés dans le département RMS.

Dans le cadre de la thèse de David Rouzineau (2002) dont l'objectif était de développer un modèle de transfert de matière multiconstituant réactif en milieu diphasique applicable à la distillation réactive, nous avons étudié et implanté la loi de diffusion de Maxwell-Stefan, le transfert thermique et le transfert de matière étant traités au même niveau de complexité. Ces développements ont permis d'intégrer le modèle dans le simulateur de procédés continus de la société Prosim SA. Une étude sur les potentialités et les limites de cette modélisation a été réalisée en collaboration avec la société ATOCHEM (devenue ARKEMA). La validation expérimentale a été menée sur un pilote spécifiquement développé au laboratoire. Les résultats ont démontré l'importance de prendre en compte la réaction dans le calcul des flux diffusionnels.

Process Intensification is a policy of development of new technologies and of new design methodologies, aiming with equipment size reduction and productivity increase and with the enhancement of safety and environmental impact. Usually, process intensification involves either multifonctionnality of equipment, combining separation and reaction processes, either specific design in order to increase by some orders of magnitude the transport phenomena (mass, energy, movement), or the combining of both. In the following sections, the two aspects will be detailed, including some examples within the period 2002 – 2005.

1. Reactive distillation

What is expected from the combining of reaction with separation in an unique device ? Among other advantages :
- increase of yield
- selectivity enhancement
- energy savings.
The reactive distillation is probably one of the most famous example. In spite of its great interest, reactive distillation still remains an alternative that is insufficiently considered when process designing. The use of this promising technology is tiny, presumably because of the lack of general tools, that could answer various questions, such as : is it doable to reach the production goal ? with which design ? Where is the reaction part located ? Are there some typical parts especiallly devoted to separation and, if yes, where ? With which kind of technology and what is the sizing ? What are the operating parameters ?

In order to develop such tools, a strong cooperation with our colleagues of the PSE department has been established, and four research programs have been defined :
- modelling and simulation
- optimal design of the column under controllability, productivity, safety and environment criteria
- experimental validation at the pilot scale
- development of new catalytic internals.
In what follows, we intend to focus more specifically on the activity developed in the RMS Department.

In the frame of Rouzineau PhD thesis (2002), a multicomponent multiphase reactive mass transfer modelling has been applied to the reactive distillation, on the basis of Maxwell-Stefan approach, including not only mass transfer, but also energy transfer. The model has been implemented in the software environment of PROSIM. The study of the validity of the modelling has been performed in coworking with ATOCHEM (ARKEMA,

Dans la thèse de Mathias Brehelin (en cours), dont l'objectif est la maîtrise de la distillation LLV réactive, nous avons développé des outils capables de calculer les courbes de résidus réactives LLV. La principale difficulté réside, ici, dans la stabilité thermodynamique des phases. Ce verrou a été levé en s'appuyant sur les travaux réalisés par l'équipe de X. Joulia du département PSI. A partir de l'analyse de ces courbes, nous montrons comment on peut mettre à profit les phénomènes de démixtion pour favoriser la conversion et la séparation. Une réaction modèle a été étudiée pour illustrer cette approche : l'estérification du butanol par l'acide acétique pour produire de l'acétate de butyle. Une validation expérimentale sur un garnissage catalytique est prévue en collaboration avec l'université technologique de Berlin. Ce partage de moyens expérimentaux est au cœur d'un programme Procope entre le LGC et TU Berlin.

Par ailleurs, l'utilisation d'une transestérification pour la valorisation de l'acétate de méthyle sous-produit issu d'un procédé de Poly Vinyle Alcool a été étudiée. Ce travail fait l'objet d'une thèse en cotutelle avec l'université de Barcelone, en co-direction avec X Meyer du département PSI. Le contenu plus orienté " méthode de conception " est développé dans la partie de ce rapport relative aux travaux du département PSI.

Une déclinaison de la distillation réactive aux procédés batch est également réalisée. Il s'agit des travaux de C. Steger (thèse en cotutelle avec l'Université de Budapest, en cours) tout particulièrement orientés vers la distillation batch réactive dans des configurations un peu exotiques : avec alimentation de solvant, en distillation inverse, en distillation avec bac intermédiaire. Une méthode d'analyse de faisabilité applicable à l'ensemble de ces cas a été développée. Une validation expérimentale sur un pilote est en cours à Budapest.

Un réseau de recherche entre le LaTEP de Pau, le LGC de Toulouse (dpt RMS et PSI), les universités de Berlin (TUB), de Barcelone (UB) et de Budapest (BUDE) a été créé. Chacun des partenaires ayant un thème spécifique mais complémentaire les uns des autres (cf tableau ci-dessous). Les recherches sont soutenues par le Ministère des Affaires Etrangères qui co-finance 2 thèses en co-tutelles et 2 Programmes d'Actions Intégrées (PAI Procope et Balaton). Au sein de ce réseau, 5 thèses ont été soutenues (3 en 2002, 1 en 2004 et 1 en février 2005) et 5 autres sont en cours.

Partenaires	Thèmes de recherche
LaTEP	Distillation catalytique, design optimal
LGC (RMS et PSI)	Analyse de faisabilité, conception, modèle de transfert
Université de Berlin (TUB)	Stratégie de démarrage des colonnes réactives
Université de Barcelone (UB)	Distillation réactive avec changement de pression
Université de Budapest (BUDE)	Distillation réactive batch avec bac intermédiaire

now). The experimental validation has been done with a lab pilot column. The results have proven the importance to account with reaction in the calculation of the diffusional fluxes.

In the work of Brehelin (PhD thesis under progress), the objective is to control the LLV reactive distillation. The tools that are able to calculate the LLV reactive residues curves have been specifically developed. The main difficulty arises from the thermodynamical phase stability. This bottleneck has been treated by using the results obtained in the team of Prof. Joulia (PSE Department). From the curve analysis, we have demonstrated how to manage with the demixtion process in order to enhance both conversion and separation. A model reaction has been investigated in order to illustrate the approach : butanol esterification by acetic acid for butyl acetate production. An experimental validation with a catalytic internal has been scheduled in collaboration with TU Berlin (Procope Programme).

Otherwise, the methyl acetate valorization by means of a transesterification has been studied, in the case of a co-tutelle PhD thesis with University of Barcelona (codirection with Mrs Meyer in the PSE Dept). The methodology, design oriented, is detailed in this report elsewhere (RMS Dept activity).

Batch reactive distillation is also investigated in the frame of Steger PhD thesis (in collaboration with University of Budapest). Some specific conditions are under study : solvent feed, inverse distillation, distillation with intermediate tank. The feasibility has been checked in every case. The experimental validation will be undertaken in Budapest.

A research network, including the LaTEP (Pau), our Lab (dpt RMS and PSI), Berlin University (TUB), Barcelona University (UB) and Budapest University (BUDE) has been created, every partner bringing complementary skills to each other (see table below). Globally, the research programme is supported by the Foreign Affairs Ministery : 2 cotutelle PhD theses, 2 research actions (PAI Procope and Balaton). Within this network, 5 PhD theses have been already defended (3 in 2002, 1 in 2004 and 1 in February 2005). 5 other ones are currently in progress.

Partners	*Research Topics*
LaTEP	*Catalytic distillation, optimal design*
LGC (RMS and PSE)	*Feasibility analysis, design, transfer model*
Berlin Univ. (TUB)	*Start-up procedures of reactive distillation columns*
Barcelona Univ. (UB)	*Reactive distillation under pressure variation*
Budapest Univ. (BUDE)	*Batch reactive distillation with intermediate storage*

DÉPARTEMENT RMS

En parallèle à ce réseau dédié à la distillation réactive, une réflexion sur l'adaptation de l'approche distillation réactive à d'autres réacteurs multifonctionnels a été initiée en 2004. Cette idée a donné naissance à une action transversale au LGC. Au sein de cette action, nous nous préoccupons également de l'élaboration d'internes catalytiques " intelligents " offrant les performances requises aussi bien en réaction qu'en séparation. A ces fins, de nouveaux matériaux seront mis en œuvre comme, par exemple, les mousses métalliques ou les matériaux composites. Pour ce dernier cas, une collaboration avec la société SNECMA est en cours.

2.2 Réacteurs-échangeurs

Comme l'ont montré les travaux antérieurs menés au laboratoire, la mise en œuvre de réactions chimiques dans les réacteurs discontinus est généralement fortement limitée par les contraintes liées à l'évacuation de la chaleur générée par ces réactions. Depuis 2002, un ensemble de travaux a été engagé concernant l'étude et le développement de procédés permettant la mise en œuvre optimale de réactions chimiques tout en assurant une intensification des transferts (chaleur et matière). La maîtrise de la température du milieu réactionnel autorise une augmentation de la vitesse d'introduction des réactifs sans risque d'emballement thermique et une diminution de l'utilisation des solvants. L'objectif est d'aboutir à des procédés qui permettent l'amélioration de l'efficacité énergétique, une production propre, un impact réduit sur l'environnement, une sécurité maximale, des installations plus compactes et multifonctionnelles.

De 2002 à 2004, un programme international, coordonné par l'équipementier ALFA LAVAL, a été mis en place en vue de développer un nouveau concept de réacteur-échangeur offrant une très bonne maîtrise des transferts thermiques dans un réacteur fonctionnant en continu. Ce programme associait les partenaires suivants : ALFA LAVAL, Chalmers University of Technology (Suède), GRETh (CEA Grenoble), Lund Institute of Technology (Suède), PROGEPI - LSGC Nancy et le LGC Toulouse. Cet appareil représente un équivalent continu du réacteur discontinu largement implanté dans des domaines importants de l'industrie chimique comme la chimie fine, la chimie pharmaceutique, les polymères et les biotechnologies. Nous avons testé différents types de réactions chimiques :

- réaction acide - base : instantanée et très exothermique
- réaction thiosulfate – eau oxygénée : rapide et très fortement exothermique
- réaction d'estérification : équilibrée et de cinétique connue
- nitration du toluène : exothermique, diphasique, de cinétique connue et dangereuse.

Les essais ont mis en évidence les fortes capacités de transfert thermique du réacteur-échangeur (Prat et al., 2005). Par rapport à un réacteur discontinu classique, cette propriété permet de déterminer des conditions opératoires intensifiées (augmentation des concentrations de réactifs, de la température, de la pression et des quantités de catalyseur ...) de façon à obtenir des temps de réaction très courts (quelques minutes au lieu de quelques heures) compatibles avec les temps de séjour dans l'appareil. Simultanément, un modèle

Simultaneously, the study of the application of such an approach to other multifunctional reactors has been initiated at the beginning of 2004. A transverse action within our Lab has been undertaken. Particularly, we are focussing on the development of " intelligent " catalytic internals, able to provide good performances in reaction and separation as well. The metallic foams and composite materials will be early studied. For the latter case, collaboration with SNECMA is active.

2.2 Plate exchanger – reactors

As demonstrated by previous works developed in our Lab, carrying out chemical reactions in batch or fed-batch reactors is strongly constrained by dissipation of heat generated by these reactions. Since 2002, different works have been engaged to study and develop new processes to optimally carrying out chemical reactions while assuming intensification of transfers (heat and mass).

Temperature control of the reacting mass allows to increase reactant feeding without risk of thermal runaway and to decrease solvent use. The objective is to develop more compact and multifunctional processes while increasing thermal efficiency, ensuring clean production, reducing environmental impact and improving safety.

From 2002 to 2004, we have been involved in an international research program coordinated by ALFA LAVAL with the aim to develop a novel concept of exchanger-reactor which ensures a very good control of heat exchanged in a continuous reactor. The following partners were involved: ALFA LAVAL, Chalmers University of Technology (Sweden), GRETh Grenoble, Lund Institute of Technology (Sweden), PROGEPI - LSGC Nancy and LGC Toulouse. This apparatus represents a continuous equivalent of batch reactors which are largely used in important sectors of chemical industry as fine chemicals, pharmaceuticals, polymers and biochemicals.

Different chemical reactions have been investigated:

- *Acid / Base Neutralisation: instantaneous and exothermic*
- *Oxidation of sodium thiosulfate by hydrogen peroxide: highly exothermic with fast kinetics*
- *Esterification : moderate kinetics, equilibrated*
- *Toluene nitration: liquid-liquid, known kinetics model, exothermic, dangerous side-reactions*

The experiments have clearly shown the high capacity of heat transfer of the exchanger-reactor. Compared to a classical batch reactor, this property allows to define intensified operating conditions (increase of reactant concentrations, temperature, pressure

de simulation dynamique a été développé et validé par rapport aux données expérimentales. Ce simulateur est un élément essentiel lors de la définition d'expériences visant d'une part à l'acquisition des données nécessaires à la validation et d'autre part à la recherche des conditions opératoires optimales.

Banc d'essai échangeur-réacteur

Depuis 2003, nous sommes intégrés dans plusieurs autres projets de recherche :

- " Echangeurs multi-fonctionnels " dans le cadre du PRI Energie 2003. Ce programme associe :

- le Laboratoire de Thermocinétique de Nantes (LTN),
- le Laboratoire d'Energétique et Mécanique Théorique et Appliqué (LEMTA) de Nancy,
- le Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA) de Rouen,
- le Laboratoire de Mécanique des Fluides et Acoustique (LMFA) de Lyon,
- le Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques (GREThi) du CEA Grenoble.

Il s'agit de développer de nouveaux concepts d'échangeur-réacteur (thèse de Mouna Abbana-Bennani, en cours), notamment par la mise en place d'internes (mousses métalliques, ailettes, ...) dans la partie réactionnelle. L'objectif est de favoriser le mélange et les échanges thermiques particulièrement dans le cas d'écoulements proches du régime laminaire (régime qui permettrait d'assurer un temps de séjour suffisant dans l'appareil). D'autres études sont en cours sur différents appareils comme des extracteurs centrifuges en collaboration avec l'entreprise ROUSSELET - ROBATEL.

- CAPLOG, ACI " Nouvelles méthodologies analytiques et capteurs ", qui associe :

- le Laboratoire d'Automatique et de Génie des Procédés (LAGEP) - Villeurbanne
- le Laboratoire des Sciences du Génie Chimique (LSGC) - Nancy
- le Laboratoire d'Automatique de Grenoble (LAG) - Grenoble
- le Laboratoire de Génie Chimique (LGC) - Toulouse

Les procédés chimiques sont équipés de capteurs de suivi en ligne dans l'objectif de surveillance de la sécurité des opérations, la détection de panne, la mesure des propriétés du produit et éventuellement le contrôle de ces propriétés. Ces capteurs sont parfois coûteux ou lourds à mettre en œuvre. En outre, certaines propriétés finales du produit ne sont pas mesurables en ligne. Pour ces raisons, dans ce projet il s'agira de développer et d'utiliser des capteurs logiciels pour le suivi en ligne des procédés chimiques. Ces capteurs sont basés sur le modèle du procédé et sur les mesures valables en ligne et fournissent une estimation d'une propriété non mesurée physiquement si cette propriété est observable.

- Projet Européen IMPULSE (décrit dans la rubrique " Positionnement " de ce document)

and amount of catalyst ...) in order to get very fast reaction time (few minutes instead of few hours) compatible with the residence time.

A dynamic simulation model has been developed and validated with regard to experimental data. This model is a key point to design experiments in order to get necessary data required to the validation and to determine optimal operating conditions.

Since 2003, we have been partners into many other research programmes :

- *" Multifunctional exchangers ": PRI Energy 2003 CNRS - CEA. In this action are involved in addition to our Lab :*

- *the Lab of Thermokinetics Nantes (LTN),*
- *the Lab of Energy, Theoretical and Applied Mechanics (LEMTA) Nancy,*
- *the lab of Aerothermochemistry Rouen (CORIA),*
- *the Lab of Fluid Mechanics and Acoustics Lyon (LMFA),*
- *the CEA Grenoble (GREThi).*

The objective is to design new plate exchanger-reactors (Abbana-Bennani PhD Thesis, in progress), particularly by means of internals like metallic foams in the reaction part. Consequently, we aim to enhance the mixing effects and the heat transfer, in a flow regime close to laminar, allowing a sufficiently long residence time. Other studies are currently performed with centrifugal contactors in collaboration with ROUSSELET - ROBATEL.

- *" New analytical techniques and sensors ": CAPLOG, ACI. The partners are :*

- *the Lab of Automatics and Process Engineering Lyon (LAGEP)*
- *the Lab of Chemical Engineering Nancy (LSGC)*
- *the Lab of Automatics Grenoble (LAG)*
- *and our Lab.*

All the processes are usually equipped with on-line sensors in order to control the safety, the disfunctionning, the products specifications and eventually the product properties. The sensors are most of the time expensive and difficult to manage with. Besides, some final properties are not on-line measurable. Subsequently, the objective of the research is to implement software sensors for the on-line process control. The principle lies on the use of a process modelling and on the on-line measurements available, that give an estimation of a physically non-measured property, if still observable.

- *European Project IMPULSE (described in the part "national and international positioning)*

DÉPARTEMENT RMS

2.3 Contacteurs solide-liquide

L'innovation dans les technologies solide-liquide passe soit par la conception de nouveaux dessins conduisant à des modes originaux de circulation des phases soit par l'extension de technologies déjà éprouvées dans un secteur industriel donné à d'autres domaines d'applications. Nous allons illustrer ce propos par deux exemples.

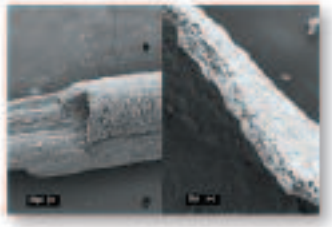
Nouvelle conception de contacteurs solide-liquide

L'étude de contacteurs solide-liquide est un thème récurrent du département notamment autour des colonnes pulsées. Les résultats déjà obtenus montrent qu'un frein à la mise en œuvre de procédés continus traitant du solide dispersé est la difficulté de maîtriser le temps de séjour solide et sa distribution. Cela est particulièrement vrai lorsque le solide est dispersé sous forme de particules de formes, de taille et de densité hétérogènes.
Le comportement et les caractéristiques des écoulements des deux phases sont ainsi fortement couplés, générant des contraintes fortes sur les applications ainsi que sur les domaines opératoires possibles (en général, cela induit un compromis entre des appareils de grandes dimensions, à forte consommation de phase liquide ou à temps de séjour faible).
Afin de relâcher ces contraintes et de permettre ainsi d'ouvrir le champ des domaines d'applications, un effort particulier a été porté sur la technologie afin de développer de nouvelles politiques de pulsation non sinusoïdale (thèse de Rutchadaporn Wongkittipong en collaboration avec l'Université de Chulalongkorn, 2004), couplées à de nouveaux types d'internes (thèse de Léna Brunet en collaboration avec RHODIA, 2005). Les solutions technologiques développées permettent de désengorger les colonnes et de garantir un écoulement piston à la phase solide.

Contacteur solide-liquide

Fractionnement de la matière végétale en extracteurs à vis

Actuellement, dans le cadre de l'étude des appareils multifonctionnels, les travaux sur l'extrudeur bi-vis CLEXTRAL utilisé comme un extracteur-réacteur se poursuivent, notamment au travers d'applications industrielles traitant de la matière végétale. En fin d'année 2004, une start-up a été créée et exploite le savoir-faire protégé par un brevet en cours de dépôt. Avec l'extrudeur bi-vis, on a pu modifier la voie d'accès en se passant d'une attaque acide avérée dangereuse (risque d'apparition de nitrocelluloses) grâce à la maîtrise des conditions thermiques du process et on a pu combiner réaction-extraction-séparation en un seul passage, ce qui permet d'assurer la productivité indispensable dans le cas d'un produit à valeur ajoutée relativement modeste.
En outre, un travail est en cours sur les extracteurs de type Vatron Mau (thèse de Rachel Poirot en collaboration avec Pierre Fabre, Plantes et Industrie, en cours). La démarche s'inscrit dans



Photos MEB de matière végétale

2.3 Solid-liquid contactors

Innovation in solid-liquid technology lies either on the design of original ways of phase transport and contacting or on the extension of industrially-proved technologies to other domains. The two next examples will illustrate this assertion.

New design of solid-liquid contactors

Solid-liquid contacting is an important field of research in the department, especially based on the pulsed columns. The results obtained show that the difficulty in dispersed solid continuous processes implementation lies in the control of the solid residence time and distribution. This is particularly true for dispersed solid characterized by high heterogeneity in shape, size or density.

The characteristics and the behavior of the two phase flows are coupled, leading to high constraints on application and on operability (this generates a compromise between large apparatus, important solvent hold-up or low solid residence time).
In order to relief the constraints and increase the applications fields, new technologies have been implemented to develop non sinusoidal pulsation policies (Rutchadaporn Wongkittipong PhD in collaboration with Chulalongkorn University in Bangkok), coupled with novel internals (Lena Brunet PhD in collaboration with RHODIA).

The technological solutions developed allow to avoid column flooding and to ensure plug flow for the solid phase.

Plants fractionation in screw extractors

In the general fields of multifunctional devices, studies on screw extractors (twin-screw extruder as a thermo-mechanic-reactor) are pursued with the Vatron Mau (Rachel Poirot PhD in collaboration with Pierre Fabre Industries). The methodology is relied to the batch to continuous strategy.
The main objective is to propose a model of the device behavior in order to optimize and control its functioning.
At the end of 2004, a start-up has been created and exploits the license partly issued from our own works. With the screw-extruder, it was possible to invent a new chemical route excluding an acid feed which revealt itself dangerous (production of nitrocelluloses) by means of a better heat transfer control. Besides, it was possible to combine conti-

le cadre de la maîtrise du passage d'un appareil fonctionnant en batch à un appareil fonctionnant en continu. L'objectif est de modéliser le comportement de l'appareil afin de pouvoir optimiser ses conditions de fonctionnement.

2.4 Génie sonochimique : Activation de procédés par ultrasons

Le génie sonochimique concerne l'utilisation rationnelle des ultrasons de puissance pour l'activation de procédés physiques et chimiques. Les multiples effets des ultrasons découlent de la cavitation acoustique. En milieu liquide homogène, l'objectif à long terme est la représentation complète du réacteur, incluant la dynamique des bulles de cavitation, la propagation de l'onde dans le milieu cavitant, et les effets chimiques induits. En milieux polyphasiques, l'approche est plus empirique et différentes applications sont étudiées : émulsification (J.P. Canselier et al., 2002), cristallisation, catalyse hétérogène et électrochimie (R. De Lima et al., 2002 et 2003).

- Cristallisation :

La thèse de N. Amara (2002) a montré les potentialités de la sono-cristallisation (N. Amara et al., 2001 et 2004) :

- amélioration de la nucléation
- réduction de la taille des cristaux et resserrement de leur distribution granulométrique
- accélération de la vitesse de croissance et augmentation du rendement de cristallisation par réduction de la sursaturation finale.

- Traitement d'effluents aqueux :

Dans le cadre d'un contrat franco-indien (CEFIPRA, coll. A.B. Pandit, ICT-BOMBAY), et d'un contrat Région (coll. LIPE Toulouse), nous avons étudié divers aspects de l'application des ultrasons au traitement d'effluents liquides :

- modélisation de la dynamique de bulle unique : influence de la puissance ultrasonore et de l'atmosphère gazeuse sur le collapse et la production de radicaux (stage doctoral P. Kanthale ; P. Kanthale et al., 2003 et 2005),
- dégradation de polluants en phase aqueuse (phénol, p-nitrophénol, acide formique) à diverses fréquences ultrasonores et en présence d'additifs (stage postdoctoral P. Gogate ; P. Gogate et al., 2003),
- transfert gaz-liquide lors de l'injection d'air dans l'eau : diminution de la solubilité, accélération du transfert gaz-liquide en présence d'ultrasons (stage doctoral A. Kumar ; A. Kumar et al., 2004 et 2005).

nuously reaction – extraction – phase separation – in one passage, which allows to ensure the process productivity in the case of a low-added value product.

2.4 Sonochemical engineering : Activation of processes by ultrasound

Sonochemical engineering involves the use of power ultrasound for the activation of physical and chemical processes through acoustic cavitation.
In homogeneous liquid media, the long-range objective is to model the overall sono-reactor, involving the bubbles dynamics, the propagation of the wave in the cavitating medium, and the chemical effects.
In multiphase media, the approach is more empirical and different applications are investigated : emulsification (J.P. Canselier et al., 2002), crystallisation, heterogeneous catalysis and electrochemistry (R. De Lima et al., 2002 et 2003).

- Crystallisation :

The PhD thesis of N. Amara (2002) has shown different potentialities of sono-crystallisation (N. Amara et al., 2001 et 2004):
- improvement of nucleation
- reduction of the average size of crystals and narrowing of the crystals size distribution
- acceleration of the growth rate and increase of the crystallisation yield by lowering the final oversaturation.

- Wastewater treatment :

In the frame of an indo-french contract (IFCPAR, coll. A.B. PANDIT, ICT-MUMBAI), and a regional network (LIPE, IMRCP Toulouse), different aspects of the applications of power ultrasound to wastewater treatment have been investigated :
- modelling of the dynamics of a single cavitation bubble : effects of ultrasound power and gas nature on the collapse of the bubble and on the formation of radicals (postdoctoral work by P. Kanthale ; P. Kanthale et al., 2003 et 2005)
- degradation of pollutants in aqueous phase (phenol, p-nitrophenol, formic acid) at different ultrasound frequencies and in the presence of additives (postdoctoral work by P. Gogate ; P. Gogate et al., 2003)
- gas-liquid mass transfer during the injection of air into water : decrease of the solubility, acceleration of mass transfer in presence of ultrasound (postdoctoral work by A. Kumar ; A. Kumar et al., 2004 et 2005).

DÉPARTEMENT RMS

- Réactions catalytiques polyphasiques (thèse de F. Laugier, en cours) :
Afin d'exploiter les effets mécaniques de la cavitation acoustique (accélération des transferts par accroissement de l'aire interfaciale), nous entreprenons l'étude de réactions catalytiques polyphasiques limitées par les transferts liquide-liquide, ou gaz-liquide.

D'autres applications des ultrasons sont envisagées en traitement d'eau : l'oxydation de polluants par sono-électrochimie (avec P. Cognet, projet ALFA), la sonication de boues afin d'en améliorer la biodégradabilité ou l'oxydation catalytique ultérieure (programme 5ème PCRD : STREP).

2.5 Sécurité des procédés

L'objectif du travail, mené dans le cadre de la thèse de Wassila Benaïssa (BDI co-financée INERIS, en cours), est d'étudier la transposition d'une réaction chimique exothermique présentant un risque d'emballement thermique, d'un réacteur semi-continu à un réacteur continu intensifié compact en suivant une démarche sécurité des procédés. La réaction d'estérification de l'anhydride propionique par le butan-2-ol est choisie comme cas d'étude. Le réacteur intensifié retenu est de type réacteur - échangeur, conçu selon une structure modulaire par blocs; chaque bloc étant constitué d'une plaque (zone de réaction), permettant l'écoulement du milieu réactionnel, comprise entre deux plaques contenant le fluide utilité (zone de refroidissement). Comme on l'a déjà vu, cette géométrie permet d'intensifier les échanges thermiques.

Dans un premier temps, nous suivons le processus classique d'évaluation de la sécurité des réactions chimiques dans un procédé discontinu / semi-continu : mesures calorimétriques et essais dans un calorimètre réactionnel (Mettler RC1) afin d'acquérir les données thermocinétiques nécessaires pour déterminer un protocole de réaction en sécurité.

Dans un deuxième temps, nous étudions la faisabilité puis les conditions de mise en œuvre en sécurité de cette réaction dans le réacteur intensifié. Pour cela, nous utilisons un programme de simulation, développé à partir des bilans de matière et d'énergie en régime transitoire, qui tient compte de la géométrie spécifique du dispositif. Le logiciel fournit les profils de températures et de concentrations le long de la ligne réactionnelle. Les résultats issus du programme doivent être validés à partir d'expériences menées dans le réacteur intensifié. La comparaison des performances des deux types de réacteurs semi-continu et continu intensifié est également prévue.

- Multiphase catalytic reaction *(PhD thesis F. LAUGIER, in progress)*
In order to take advantage of the mechanical effects of cavitation (acceleration of mass transfers thanks to the increase of interfacial area), multiphase catalytic chemical reactions, limited by liquid-liquid or gas-liquid mass transfer, are investigated.

Other applications are considered in the field of wastewater treatment : oxidation of pollutants by sono-electrochemistry (with P. Cognet, ALFA project), treatment of sludge by ultrasound in order to increase their biodegradability or improve their further catalytic oxidation (5th PCRD program : STREP).

2.5 Process safety

The aim of the work, carried out within the frame of Wassila Benaissa's thesis (PhD partly supported by INERIS, in progress) is to study the transposition of an exothermic reaction, presenting a thermal runaway risk, from a semi-batch reactor to a continuous intensified compact one according to the process safety principles. The reaction of propionic anhydride esterification with butan-2-ol is chosen as a case study. The intensified reactor selected is of plate heat exchanger type, designed according to a modular structure (several sections); each section is made up of a plate (reactive zone) allowing the flow of the reaction mixture, located between two plates containing the utility fluid (cooling zone). In particular, this geometry allows to intensify thermal exchange.

In a first step, the classical process of evaluation of chemical reaction safety in a batch / semi-batch reactor is followed: calorimetric measurements and experiments in a reaction calorimeter (Mettler RC1) to obtain thermokinetics data necessary to determine a safety reaction protocol.

In a second step, the feasibility then the implementation of the reaction in the intensified reactor under safety conditions are studied. For this purpose, a simulation computer program is used, developed from the mass and energy balances in transitory mode and taking the specific geometry of the device into account. The program provides the temperature and concentration profiles along the reaction line. The results given by the software must be validated by experiments achieved in the intensified reactor. A comparison of the semi-batch and continuous reactor performances is also foreseen.

3. Microréacteurs

Joëlle Aubin, Michel Cabassud, Christophe Gourdon, Richard Guilet, Laurent Prat, Catherine Xuereb

Les microréacteurs constituent une nouvelle génération de procédés, totalement différenciante. Ils représentent un saut technologique pour les industries qui les utilisent. Ils répondent aux exigences sociétales de proposer des installations plus propres, plus sûres, et s'intégrant mieux dans le paysage. En effet, pour certaines applications, ils autorisent la synthèse de produits à la demande, sur le lieu de leur consommation, dans des conditions très contrôlées. Il ne s'agit pas d'améliorer les procédés de fabrication actuels, mais bien de concevoir, de penser la production chimique, physique, ou l'analyse, de façon totalement différente. Loin d'être une solution de substitution universelle, la miniaturisation des réacteurs a certainement un avenir intéressant dans certaines niches industrielles.

Par rapport aux appareillages relevant du génie des procédés traditionnel, tous les ordres de grandeur sont modifiés, ce qui conduit à un bouleversement des phénomènes physiques ou chimiques prépondérants à prendre en compte.
L'emploi de microréacteurs permet d'aborder des réactions pour lesquelles les régimes de fonctionnement sont réputés dangereux (très hautes pressions, températures extrêmes, régimes d'explosion) dans des conditions sûres. Ceci est une conséquence directe de la diminution des échelles physiques du microréacteur. La taille des microcanaux dans les microréacteurs (de l'ordre de 10 à 500mm en règle générale, sur quelques centimètres de longueur) implique une augmentation notable du rapport surface/volume: jusqu'à 50000 m^2/m^3 dans un microréacteur par rapport à 100 m^2/m^3 dans un réacteur conventionnel. Un tel rapport permet d'intensifier fortement le transfert de matière et de chaleur, et ainsi de contrôler précisément les conditions opératoires et les réactions.
Notre objectif est d'étudier le fonctionnement de ces microréacteurs dans le cadre d'opérations diversifiées (mélange, réactions chimiques catalytiques ou non, opérations diphasiques,...). Il convient de mettre en évidence les phénomènes limitants et les domaines de fonctionnement, de préconiser les outils technologiques nécessaires au bon fonctionnement des installations (connectique, installation de capteurs), de développer des outils d'aide au choix, au dimensionnement et à la conception des unités. L'approche expérimentale est privilégiée, et se complète par la mise en œuvre d'outils numériques. Il est indispensable de rester au plus près des technologies de fabrication, qui comportent des limites de faisabilité assez strictes. C'est pourquoi nous avons conclu une convention de partenariat avec le LAAS (UPR CNRS), qui nous apporte ses compétences en terme de conception de micro-unités (associations silicium/verre/PDMS).
Le programme européen IMPULSE (PI du 7ème PCRD démarré en 2005), nous offre un réseau de partenaires académiques et industriels particulièrement intéressants pour développer nos actions (décrit dans la rubrique " Positionnement " de ce document).

3. *Microreactors*

Microreactors are a new generation of safer and cleaner process equipment that are being developed in response to societal and environmental concerns of today. In fact, in some applications, microreactors enable the on-site production of reactants under highly controlled conditions. The integration of microreactors into industrial processes is not a simple improvement of the current industrial situation, but is more so a new concept for chemical production, physical transformation or analysis. Although microstructured reactors are not a universal solution for all of the current problems, there are certainly a number of specific industrial areas that will benefit from their use.

Compared to traditional processing equipment, the order of magnitude of the physical phenomena that occur in microreactors is changed. As a result, the physical or chemical phenomena that are typically limiting may now not be, and other phenomena will have become important.

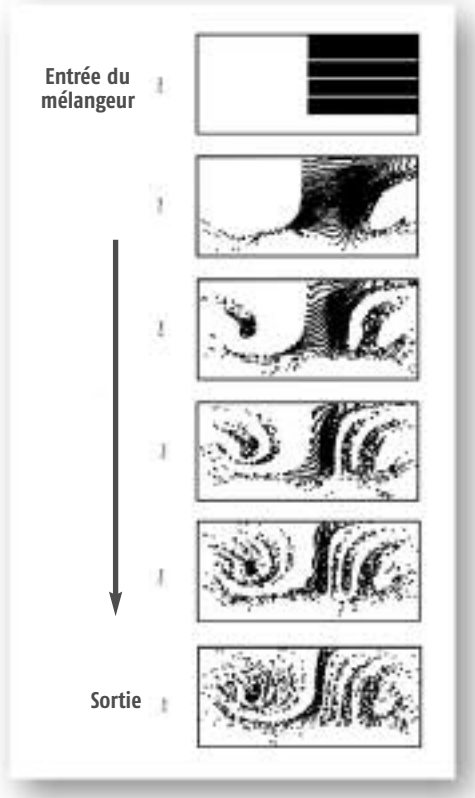
The use of microstructured reactors enables chemical reactions, that are typically dangerous (e.g. very high pressures or temperatures, explosive regimes), to be carried out in safe conditions. This is due to the decrease in physical scales encountered in the channels. The small dimensions of the microchannel (generally between 100 and 900 mm wide and a few centimeters long) lead to a large increase of the surface/volume ratio: up to 50 000 m^2/m^3 in a microreactor compared with about 100 m^2/m^3 in a classical reactor. Such high ratios enable intensification of the heat and mass transfer processes, and as a result, precise control of the operating conditions.
Our aim is to study the way these microreactors function in various operations, such as mixing, chemical reactions (catalytic or not) and two-phase flow. In particular, our studies deal with the identification of the limiting phenomena and operating ranges in these microreactors, the development of methodologies for their selection and design, as well as for the their scale-out and integration into industrial processes. For this, an experimental approach is essential, and is complemented by the development of CFD tools. It is also important to consider the feasibility of the fabrication of microreactors. For this reason we work closely with the LAAS (UPR CNRS), who specialises in silicon/glass/PDMS technology for the creation of micro-units
In addition, we are involved in the European Integrated Project (6th Framework Programme) IMPULSE, that started in 2005, where we work with around 20 academic and industrial partners using various scientific approaches and applications.

DÉPARTEMENT RMS

3.1 Mélange et réaction de fluides miscibles en microréacteur

Une des difficultés majeures rencontrées dans les microréacteurs est le processus de mélange. Ceci a une conséquence directe sur la performance du réacteur pour les réactions chimiques (thèse de Fabien Ladevèze, 2005) aussi bien que le transfert de matière et de chaleur, le temps et le coût de l'opération, la qualité du produit final. La taille des canaux dans les microréacteurs implique que le régime d'écoulement est pratiquement toujours laminaire, c'est donc le mécanisme diffusionnel qui contrôle le mélange. Dans le cas de liquides, c'est un processus très lent, qui peut être largement accéléré en réduisant la distance caractéristique entre les espèces, d : le transport diffusionnel obéissant à une loi de Fick, le temps de mélange est proportionnel à d^2/D, où D est le coefficient de diffusion. Pour mélanger plus efficacement et dans un temps convenable, il est donc nécessaire de réduire la distance caractéristique entre les espèces, généralement déterminée par la géométrie du micromélangeur. Ainsi, la conception de l'appareil et le type de mise en contact de fluides déterminent la performance du mélangeur.

Notre démarche relève d'une approche " génie des procédés ", couplant les spécificités de conception des éléments d'équipement et les phénomènes physiques qui contrôlent localement l'opération. Des méthodologies expérimentales et numériques permettent d'analyser l'influence du type de géométrie et de mise en contact des fluides sur le mélange ou la réaction chimique. Expérimentalement, des techniques locales (microPIV, microscopie) et globales (CPG, mesure de la perte de charge) sont appliquées afin de caractériser l'écoulement, le mélange et l'avancement de la réaction. Numériquement, nous avons développé des méthodes de caractérisation du mélange permettant d'évaluer la performance du micromélangeur, et de comprendre le couplage entre l'avancement de la réaction et le mélange. La CFD est également utilisée en tant qu'outil numérique pour le design rapide de nouvelles géométries de microréacteurs.



Visualisation du phénomène de mélange dans un micromélangeur structuré (Aubin et al., 2003 et 2005)

3.1 Design and study of microreactors for miscible liquid mixing

Mixing is a major problem encountered in microreactors and therefore can highly affect process performance, in terms of heat and mass transfer, operating time and cost, as well as product quality. Due to the small dimensions of the micro channels, the flow is predominately laminar and mixing is therefore limited by molecular diffusion.

For liquids, this process is very slow but can be enhanced by decreasing the characteristic diffusional path, d : since, according to Fick's law, the mixing time is proportional to d^2/D, where D is the diffusion constant. Hence, in order to effectively mix in a reasonable time, fluids must be manipulated so that the interfacial surface area between the fluids is increased massively and the diffusional path is decreased, enhancing molecular diffusion to complete the mixing process. Since the characteristic diffusional length is directly linked to the microreactor geometry, the design and the type of fluid contacting is highly important for reactor performance.

The scientific approach employed here is a typical process engineering methodology, whereby the design of process elements is coupled closely with the physical phenomena that locally control the mixing operation. Experimental and numerical methods enable the effect of reactor geometry and fluid contacting type on the mixing quality and the chemical reaction to be analysed. Experimentally, local and global techniques (microPIV, microscopy, GPC, pressure drop measurements ...) are applied in order to characterise the flow patterns, mixing and reaction. Numerically, methods for the characterisation of the mixing performance of microreactors have been developed with CFD. This tool is also used for the fast design of new microreactor geometries.

Visualisation of mixing in a structured micromixer (Aubin et al., 2003 and 2005)

These results, obtained by CFD, show the stretching of a fluid tracer employing Lagrangian particle tracking. The mixing mechanism increases the interfacial area between the fluids, decreases striation thicknesses and ensures circulation at the fluid interfaces, thus promoting molecular diffusion.

Ces résultats numériques obtenus par CFD montrent l'étirement d'un fluide traceur par une approche Lagrangienne. Le mécanisme du mélange permet d'augmenter l'aire interfaciale entre les espèces, de diminuer l'épaisseur des filaments de fluide et d'assurer le renouvellement des interfaces, facilitant donc la diffusion moléculaire

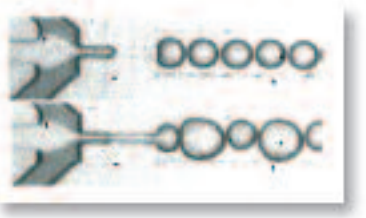
3.2 Microréacteurs pour la dépollution d'effluents gazeux

Cette activité vise à étudier le comportement d'une nouvelle génération de microréacteurs catalytiques structurés appliqués à la dépollution locale d'effluents gazeux contenant des Composés Organiques Volatiles (COV), dans le cas de pollutions localisées ou difficilement accessibles. Ces travaux s'inscrivent dans une Action Concertée Incitative " MICRODEPOL " en collaboration avec le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS – Toulouse) et l'Institut de Recherche sur la Catalyse (IRC – Lyon). Ils sont également soutenus par le Conseil Régional Midi-Pyrénées.
Ces microréacteurs, constitués de microcanaux parallèles, permettent une meilleure maîtrise des écoulements et un meilleur contrôle des échanges thermiques. En effet, la dépollution est réalisée par combustion catalytique des COV, réaction exothermique dont le rendement et la sélectivité dépendent fortement des températures de combustion. Le développement et l'optimisation de ces structures devraient ainsi conduire à la sécurisation de ces procédés de combustion.
Afin d'évaluer l'efficacité de ces microréacteurs le laboratoire a conçu un banc-pilote couplé à un dispositif d'analyse en ligne (CPG-TCD-FID). Il permet de comparer rapidement différentes microstructures. L'approche consiste à obtenir des modèles de cinétique chimique et de transfert établis à partir de données expérimentales obtenues sur le banc-pilote.
Des études sont réalisées pour développer une méthodologie permettant d'accéder rapidement aux modèles selon le constituant à traiter. La prise en compte des phénomènes de transfert devrait permettre de mettre en évidence les mécanismes limitant l'avancement de la réaction chimique sur les parois où le catalyseur est déposé.

Coalescence et mélange de deux gouttes

3.3 Micro-systèmes en phase liquide-liquide

Les aspects expérimentaux et numériques de la coalescence de réactifs en micro-systèmes sont étudiés. Les principales applications visées sont la mise en place de réactions rapides et la génération de dispersions liquide-liquide parfaitement contrôlées. Chaque cas particulier pouvant être abordé soit dans un objectif de production soit dans un objectif d'acquisition de données utiles aux procédés.



Génération de nanogouttes

3.2 Gas-phase Microreactors

The aim of this activity is to study the behaviour of a new generation of catalytic micro reactors for the decomposition of volatile organic compounds (VOC) in a gaseous effluent. This research should allow the laboratory to develop new expertise in the various application fields of microreactors. The work is carried out within the context of a national program, MICRODEPOL, in collaboration with the LAAS (Toulouse) and the Institut de Recherche sur la Catalyse (Lyon). It is also supported by regional funding (MICROPROP, Conseil Régional Midi-Pyrénées).
These multi-channel microreactors offer improved control of the flow distribution and heat transfer. VOC destruction is achieved by means of a catalytic oxidation with high heat release. Moreover, the reaction conversions and selectivities are strongly temperature-dependant. As a result, the development of this microreactor technology should increase the safety of such oxidation processes.
To evaluate the microreactor performance, a lab-scale unit has been designed and equipped with an on-line analytical device (GC-TCD-FID) allowing a rapid comparison of different microstructures. The applied methodology is aimed at obtaining kinetic and transfer models from experimental data. Investigations are done to develop tools to get proper models according to the target compounds. Consideration of the transport phenomena should help us understand the conversion limitations of the reaction on the catalytic reactor walls. Both the experimental results and modelling will enable us to improve the microreactor design and operation.

3.3 Liquid-liquid flow in microreactors

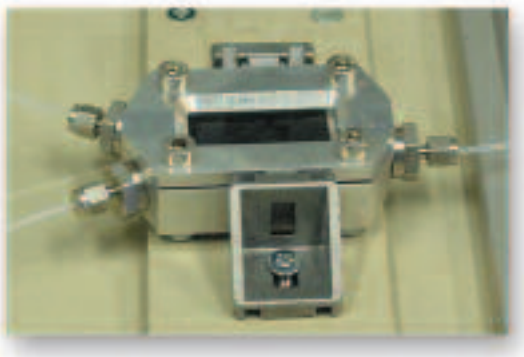
Another aspect of our work concerns the experimental and numerical study of immiscible liquid reactants coalescing in microchannels. The main applications are the implementation of fast reactions and the generation of perfectly controlled liquid-liquid dispersions. Each case is studied with a production or a data acquisition point of view.
The chain droplets are generated by coalescence under an electric field (collaboration with Harvard University) or by flow focusing, and each of these nano volumes are characterised by a fast mixing time (<15 ms). The chemical kinetics can then be decoupled from the other phenomena and analysed (Flavie Sarrazin PhD thesis in collaboration with LOF RHODIA-CNRS) to determine stoichiokinetics models.

DÉPARTEMENT RMS

Les chapelets de gouttes générés par coalescence de deux gouttes sous champ électrique (collaboration avec l'Université de Harvard) ou par arrachage peuvent être considérés comme des nano réacteurs batch dont les temps de mélange sont inférieurs à 15 ms. Les cinétiques chimiques peuvent alors être analysées de manière découplée des autres phénomènes (thèse de Flavie Sarrazin en collaboration avec le LOF RHODIA-CNRS) et ainsi permettre la détermination de modèles stoechiocinétiques.
La génération de dispersions liquide-liquide contrôlées ouvre de nombreux champs d'application tant en élaboration de produits finis grâce à des réactions au sein de chaque goutte qu'en mise en contact de deux phases liquides (extraction par exemple). Les écoulements de ces systèmes diphasiques sont étudiés expérimentalement (F. Sarrazin et al., 2004) en couplant caméras rapides, microscopes et analyse d'image (dans le cadre de la plate-forme Fermat) ou grâce à la micro-PIV et numériquement sur des codes spécifiques de mécanique des fluides (collaboration avec l'IMFT).

Conclusions

Le laboratoire propose une plate-forme d'étude des micro-réacteurs, adaptée à des applications très différentes. Un effort particulier consiste à disposer d'une métrologie de pointe, associée à des capacités de conception qui intègrent les micro-unités et leur environnement. L'objectif est de pouvoir les insérer dans la chaîne d'un procédé classique, éventuellement multi-échelle.
Les applications sont en train de se diversifier rapidement, de par les opportunités offertes par différents partenariats. Nous pouvons noter la mise à l'étude de réactions gaz-liquide dans le cadre d'un programme ARC avec l'Université de Sydney et l'Institut de Microtechnologie de Mayence (IMM), ainsi que la fabrication d'émulsions complexes dans le cadre d'une action spécifique avec le LAAS. A terme, ces bancs expérimentaux et les outils de modélisation et de simulation pourront venir compléter une plate-forme interne d'étude sur l'intensification des procédés.



Microrécteur

Liquid-liquid controlled dispersions will lead to numerous applications in product engineering or in liquid-liquid contactors. The hydrodynamics of such systems is studied experimentally (F. Sarrazin et al., 2004) by coupling a high speed camera, a microscope and image analysis (in the Fermat Platform environment) or by micro-PIV. These results are compared with numerical results obtained by two-phase flow simulations (collaboration with IMFT).

Conclusions

Our research centre has developed a platform for the study of microstructured reactors, which can be adapted to various industrial applications. In particular, we have focussed on the set-up of instrumented microreactor pilots that enable experimental characterisation of the chemical or physical process. The aim is to be able to create multi-scale processes whereby microreactors will replace, if necessary, certain steps of traditional processes.
Other interests are gas-liquid reactions (ARC program with Sydney University and IMM), and the production of complex emulsions (LAAS collaboration). In addition, we are currently looking at setting up a process intensification platform, involving the microreactor pilot plants, as well as the modelling tools developed in the group.

4. Ingénierie des réacteurs

4. Reactor engineering

Caroline Andriantsiferana, Aimé Bascoul, Anne-Marie Billet, Michel Cabassud, Patrick Cognet, Jean Costes, Henri Delmas, Carine Julcour, Nathalie Le Sauze, Martine Poux, Alain Ricard, Anne-Marie Wilhelm, Catherine Xuereb

4.1 Réacteurs gaz-liquide, gaz-liquide-liquide et gaz-liquide-solide

Contexte et objectifs

Les réacteurs polyphasiques étudiés au LGC, se divisent en deux catégories très utilisées dans l'industrie (pétrochimie, bio-chimie) : les réacteurs à bulles (colonnes, ou cuves agitées) qui peuvent être di- ou tri-phasiques ('slurry'), et les réacteurs à lit de particules solides ('trickle bed'). Les performances, en terme de taux de conversion, sont tributaires de la vitesse de transfert du réactif gazeux vers la phase liquide et/ou la phase catalytique, du degré de mélange au sein de la phase liquide, et, le cas échéant, du taux de mouillage du catalyseur. On cherche alors à obtenir une aire interfaciale élevée entre le gaz et le liquide (petites bulles), ou entre le liquide et le solide (bon mouillage).

La caractérisation expérimentale des réacteurs G-L ou G-L-S permet de comprendre et d'améliorer les phénomènes physiques et chimiques complexes mis en jeu ; elle sert aussi de base à leur modélisation (banques de données pour la Mécanique des Fluides Numérique).

Enfin ces réacteurs sont utilisés en réaction chimique avec catalyse hétérogène classique et avec catalyseur moléculaire en phase aqueuse. Dans ce dernier cas l'aspect réaction (activité catalytique, cinétique, limitations diffusionnelles), est prépondérant.

Notre contribution se situe donc à quatre niveaux :

-métrologie, avec le développement et la validation de techniques spécifiques,

-acquisition de données, pour mieux caractériser et comprendre les écoulements et transferts dans ces appareils et comparer aux calculs de la Mécanique des Fluides Numérique (CFD),

-mise en oeuvre et modélisation complète de réacteurs à lit fixe, couplant les aspects hydrodynamique transferts matière et chaleur et cinétique chimique

-catalyse homogène en réacteur polyphasique, en testant diverses voies d'hétérogénéisation pour faciliter la séparation du catalyseur et donc l'industrialisation du procédé.

Résultats

Métrologie

Parmi les techniques intrusives, inévitables en milieu diphasique dense et donc non transparent, l'anémométrie thermique et surtout la sonde optique double ou pique bulle, plus spécialement étudiées, fournissent les valeurs locales du taux de vide, de la fréquence de bullage, des tailles et des vitesses de bulles, de l'aire interfaciale, de la vitesse du liquide et de son degré de turbulence. La précision et le caractère intrusif de ces techniques ont été analysés en détail (thèse de Kiambi, 2003 ; Kiambi et al., 2001 et 2003). L'utilisation sensée du pique bulle en écoulement très perturbé (très forte intensité de turbulence) a été

4.1 Gas-liquid, gas-liquid-solid and gas-liquid-liquid reactors

Scope and objectives

Multiphase reactors investigated at LGC belong to two types widely used in industry, mainly petrochemistry and biotechnology: bubble reactors (bubble columns, stirred reactors) involving either two or three phases (slurries, GLL dispersions) and fixed bed reactors (as trickle beds). Reactor performances are often controlled by physical phenomena as mass transfer of the gaseous reactant towards the reaction phase (liquid or catalyst), backmixing of the flowing phases and even the wet fraction of the catalyst surface. High gas-liquid interfacial area and high wetting efficiency are then requested.

Experimental characterization of gas-liquid and gas-liquid-solid reactors is useful for understanding and improving complex physicochemical hydrodynamics and also for reactor modelling through CFD data bank.

At last these reactors are used for chemical catalytic reactions with either usual ,heterogeneous catalysts or molecular catalyst in aqueous phase. In this case most attention is focused on reaction aspects (catalyst activity and stability, kinetics, diffusional limitations).

Investigations at LGC may be divided in four parts:

***metrology,** by developing and validating specific measurement techniques,*

***data collecting,** for better understanding of momentum and mass transfer in multiphase reactors and further comparison to CFD modelling.*

***Operation and modelling of three phase fixed bed reactors,** coupling hydrodynamics, heat and mass transfer and chemical kinetics, from catalyst pore size to reactor size.*

Multiphase homogeneous catalysis

Results

Metrology

Among intrusive techniques needed in highly aerated gas-liquid reactors thermal anemometry and mainly double fibre optical probes are widely used, giving local values of gas hold up, bubble frequency, diameter and velocity, interfacial area, liquid velocity and turbulence. The significance and accuracy of these measurements have been carefully investigated on bubble trains (Kiambi phD thesis, 2003; Kiambi et coll., 2001 and 2003). The double optic probe when conveniently used in highly turbulent flow without clear mean velocity direction is able to provide the Sauter diameter and interfacial area but not bubble size distribution (Chaumat PhD thesis, 2004).

Several visualization techniques and image processing have been used in various mul-

précisée : on peut mesurer un diamètre de Sauter et une aire interfaciale locale mais pas accéder à la distribution de taille de bulles (thèse de Hélène Chaumat, 2004).
Diverses techniques de visualisation et traitement d'images sont par ailleurs mises en oeuvre soit en écoulement à bulles 2D (suivi de l'effet d'additifs liquides ou solides finement divisés sur le bullage) soit dans un train de bulles (comparaison au pique bulle) soit sur un lit de particules poreuses (pour analyser le mouillage partiel d'une monocouche, par PIV, ou d'un lit fixe en écoulement ruisselant)
Au niveau transfert de matière les mesures concernent essentiellement le concept global de coefficient volumétrique (k_La) obtenu soit par oxymétrie classique en transitoire (pour voir l'effet d'une troisième phase finement dispersée sur le transfert gaz-liquide aqueux) soit, dans le cas de conditions industrielles à risque (solvant organique à fort débit), par mesure de concentration en régime permanent, non affectée par la dynamique de cette mesure. En plus de ces mesures globales un capteur de mesure locale et instantanée de la concentration en oxygène dissous [DEA Abbas, 2004], est en cours de développement afin d'examiner à fine échelle les phénomènes de transfert (dans le sillage des bulles, par exemple).

Données nouvelles

L'influence sur le transfert de masse d'une troisième phase finement divisée, très minoritaire, liquide ou solide, est étudiée en colonne à bulles, en colonne 2D et en réacteur agité : l'ajout de quelques % de phase organique au système air-eau peut provoquer un changement radical de régime de bullage (thèse de Kundu, 2004 ; Kundu et al., 2003, DEA Plais, 2004) (figure 1) ; l'ajout d'un peu de silice hydrophobe donne lieu à une augmentation modérée de k_La. En réacteur agité à dispersion de gaz, l'addition de solide micronique (à quelques g/l) modifie également peu la vitesse de transfert du gaz (air, azote, ou hydrogène) vers l'eau, avec le plus souvent des variations de k_La inférieures à 15%, mais jusqu'à +50% pour les silices hydrophobisées.
Dans l'industrie on recherche souvent un milieu liquide 'modèle' pouvant représenter au mieux, en maquette froide, le comportement (hydrodynamique et transfert) du milieu réactionnel. Cette approche est cependant discutable puisque des liquides ayant même densité, même viscosité et même tension interfaciale, et utilisés dans des conditions opératoires identiques, ne forment pas des bulles de même taille (thèse Hélène Chaumat, 2004).
Une étude locale menée sur le mouillage d'un lit modèle constitué de rangées verticales de billes a montré que l'affinité liquide-solide et la porosité du solide ont un rôle important (Thèse de L. Baussaron, 2005), pourtant souvent négligé dans la littérature. En effet, le taux de mouillage de la monocouche de billes (calculé par traitement d'images et reconstruction 3D) est jusqu'à 3 fois plus élevé lorsque le solide est poreux et surtout le liquide mouillant (angle de contact qc=51°) que dans le cas où le solide est non poreux et l'affinité liquide-solide faible (qc proche de 90°). Des mesures de champs de vitesse par traitement PIV mettent en évidence de forts gradients de vitesses de liquide dans ce type de réacteur et permettent de distinguer zones sèches, irriguées et à liquide stagnant.

tiphase flows: 2D bubble flow to investigate the effect of fine particles, bubble trains to verify the double optical probe accuracy, trickle flow on porous particles to characterize partial wetting and stagnant zones by PIV.
Concerning mass transfer measurements k_La is usually derived by transient dissolved oxygen concentration (to see the effects of a third phase, liquid or solid finely dispersed in water). Nevertheless in industrial conditions, with solvents flowing at high velocity, for safety and to avoid concentration measurement dynamics steady state measurements have been performed (Chaumat PhD thesis, 2004). In addition to these global techniques a local and fast sensor for dissolved oxygen concentration is being developed to investigate transfer phenomena at low scale (for example in bubble wake).

New data

A large bubble column operated with solvents at high velocity has been investigated both with several pressure sensors to get the gas hold up axial profile and with the double optic probe to get radial bubble diameter and velocity.

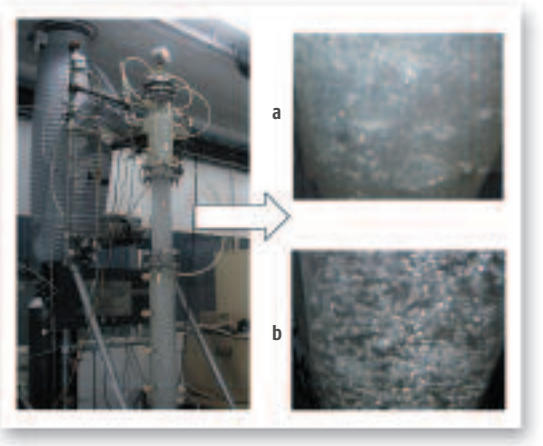
The influence of a third finely dispersed phase (liquid or solid) on gas-liquid mass transfer has been tested in a bubble column and in a stirred reactor (Kundu PhD thesis, 2004; Kundu et coll. 2003; DEA Plais, 2004) : adding a few % of organic phase in air-water bubble column may result in a clear change of bubble regime(figure 1) . Contrary to previous works very weak effects were generally observed when adding fine adsorbing solid particles unless with hydrophobic silica which enhance mass transfer by about 50%.
An industrial approach of multiphase reactors consists in finding a liquid model able to be operated in cold mock-ups with the same hydrodynamic behaviour as the reaction liquid medium. It was found rather irrelevant as different bubble size were observed in same operation conditions with liquids having same density, viscosity and surface tension [Chaumat PhD thesis, 2004]. This idea of model medium appears even more critical when investigating gas-liquid-solid systems for example concerning partial wetting.
Partial wetting has been investigated on a network of spheres centered on a vertical plane. Liquid-solid affinity, through the contact angle, and solid porosity, thought often ignored in literature, play a major role contrary to liquid flow rate (Baussaron PhD thesis, 2005). When compared to poorly wettable system (solid plastic beads in water, contact angle qc=89°) the wetting efficiency is increased up to threefold for porous alumina in ethanol,(qc=51°). PIV measurements showed very high liquid velocity gradients clearly connected with dynamic and stagnant liquid zones. PIV measurements show important liquid velocity gradients indicating stagnant zones at sphere poles and

Mise en oeuvre et modélisation de réacteurs triphasiques à lit fixe

La comparaison et la modélisation des réacteurs triphasiques à lit fixe et cocourant ascendant et descendant en hydrogénation sélective (Julcour et al., 2001, 2002 ; Chaudhari et al., 2002 ; Stuber et Delmas, 2003) s'est prolongée par l'emploi de solvants volatils pour assurer la stabilité thermique et par l'effet du mouillage partiel (Dietz et al., 2003). Les derniers développements concernent l'oxydation de polluants organiques en phase aqueuse et sont rapportés dans le paragraphe Dépollution, Procédés Propres.

Catalyse homogène en réacteurs polyphasiques

Depuis quinze ans, la catalyse " biphasique " constitue un axe majeur du génie de la réaction chimique au LGC. Il s'agit d'hétérogénéiser un complexe de coordination en phase aqueuse grâce à des ligands hydrosolubles, permettant la récupération aisée du catalyseur par simple décantation. Après les résultats intéressants obtenus avec cosolvants, puis en catalyse interfaciale par mélange de ligands hydrophiles-hydrophobes, et par colloïdes du rhodium stabilisés en phase aqueuse par des polymères, nous avons étudié en détail la technique prometteuse de catalyse par phase aqueuse supportée (SAPC) où la phase aqueuse est adsorbée sur support hydrophile poreux : silices et apatites (thèse de Jauregui, 2002 ; Jauregui et al., 2001, 2002, 2003, 2004). Notre expertise s'est concrétisée par la rédaction du chapitre SAPC dans l'ouvrage de référence Multiphase Homogeneous Catalysis à paraître en 2005.



Colonne à bulles air/eau/liquide organique,
vitesse superficielle de gaz : 1,1cm/s
a) 10% volumique de toluène b) 10% volumique de n-heptane

4.2 Génie de la réaction en chimie fine

Contexte et objectifs

Dans l'industrie de la chimie fine, les études détaillées des mécanismes et des cinétiques réactionnelles ne sont généralement pas réalisées pour des raisons de coût et de durée. L'optimisation et la commande avancée des procédés développés sont alors limitées par l'obtention d'un modèle pertinent du procédé. Nous avons développé une stratégie de développement rapide de modèles cinétiques de réactions menées en réacteur discontinu.

Résultats

Les premiers travaux de l'équipe dans ce domaine concernaient les réactions en milieu homogène, Au cours des travaux de thèse de Sébastien Issanchou (2002), cette démarche a été étendue au cas de milieux hétérogène liquide-liquide. Dans un premier temps, un modèle de réaction chimique couplée à un transfert de matière a été développé. Les paramètres relatifs à la cinétique chimique (réaction) et à la cinétique physique *forts gradients de vitesses de liquide dans ce type de réacteur et permettent de distinguer zones sèches, irriguées et à liquide stagnant.*

Operation and modelling of three phase catalytic reactors

Upflow and downflow fixed bed reactors have been compared and modelled for selective hydrogenation (Julcour et al.,2001 and 2002; Chaudhari et coll.,2002; Stuber and Delmas, 2003). Volatile solvents to insure thermal stability and subsequent partial wetting of the catalyst have also been investigated (Dietz et al.,2003). Last works concern oxidation of phenol on active carbon and are presented in the environment section.

Multiphase homogeneous catalysis

Biphasic catalysis has been a major topic of chemical reaction engineering at LGC for fifteen years. Coordination complex catalysts are kept in aqueous phase thanks to hydrophilic ligands, for easy catalyst separation and recovery. After promizing results with cosolvents, and through interfacial catalysis by mixing hydrophilic and hydrophobic ligands then by stabilized rhodium colloids, we have investigated supported aqueous phase catalysis (SAPC) in which the catalytic aqueous phase is adsorbed on hydrophilic porous support as silica or apatitic phosphates (Jauregui PhD thesis, 2002; Jauregui et al., 2001, 2002, 2003, 2004). This expertise has been summarized in a chapter on SAPC in the reference book Multiphase Homogeneous Catalysis (Herrmann and Cornils) to appear in 2005.

4.2 Reaction engineering for fine chemicals

In the fine chemistry industry, detailed studies of mechanisms and reaction kinetics are generally not led for some grounds of cost and of lasting. Optimisation and control of developed processes are then limited by the lack of an accurate model of the system. In this context, we have developed a strategy for fast modelling in case of reactions carried out in a batch stirred tank reactor.
Initial work was devoted to reactions taking place in homogeneous media. The methodology has then been extended to the case of heterogeneous liquid-liquid media (S. Issanchou PhD thesis, 2002). First, a kinetic model for a reaction accompanied by mass transfer and carried out in a batch reactor was developed. Parameters related to chemical kinetic (reaction) and to physical kinetic (transfer) were estimated simultaneously.

(transfert) ont pu être estimés simultanément. Grâce à l'étude des équations de sensibilité du modèle, nous avons pu montrer que, suivant la nature des paramètres identifiés, des conditions expérimentales spécifiques doivent être préférées pour améliorer la précision de l'identification.

Dès lors, des stratégies expérimentales peuvent être mises en place pour réduire l'incertitude sur les estimées. Une démarche séquentielle alternant les phases d'estimation et de planification a été adoptée. Cette méthodologie a été appliquée au développement d'un modèle de la réaction de saponification de l'acétate de n-amyle en réacteur discontinu. L'utilisation d'une stratégie D-optimale a permis de montrer qu'un effort expérimental réduit permettait d'obtenir un modèle fiable du procédé (Issanchou et al., 2003 et 2005).

Une fois le modèle de la transformation identifié, il est ensuite couplé à un algorithme d'optimisation pour la recherche des meilleures conditions opératoires de synthèse. L'objectif est alors de déterminer un profil de température et/ou un profil de débit et/ou le temps opérationnel afin d'améliorer un critère qui pourra être une concentration, un rendement, un critère de coût, etc. Le modèle stœchio-cinétique établi, le problème de contrôle optimal est transformé en un problème de programmation non linéaire résolu par une méthode de programmation quadratique successive (SQP).

Au cours de nos travaux, une large place est accordée à l'expérimentation. D'autre part, il est important de se placer en situation réelle d'application de l'ensemble de la méthodologie. Tel a été l'objet des travaux de thèse de Nadim Fakhfakh (2004), lors de la modélisation et de l'optimisation de la condensation aldolique du furfural sur l'acétone. Le suivi analytique de la synthèse réalisé dans différentes conditions opératoires a permis d'obtenir les données nécessaires à la modélisation stœchio-cinétique. Une fois le modèle établi, l'optimisation de la synthèse a ensuite conduit à la détermination des conditions opératoires optimales de synthèse du produit de synthèse intermédiaire.
Les travaux de thèse de S. Elgue (2002) ont permis de traiter simultanément les phases de réaction et de séparation.

4.3 Procédés d'agitation et de mélange

Contexte et objectifs

L'efficacité des opérations physiques ou chimiques réalisées dans un réacteur est en grande partie conditionnée par la maîtrise que l'on a de l'agitation et du mélange auxquels sont soumis les produits concernés (liquides, gaz, particules). Les études menées doivent donc conduire à l'identification des phénomènes, à la quantification de leur caractère plus ou moins limitant par rapport à l'opération visée, à l'atteinte ou non du résultat, puis aux règles de dimensionnement, éventuellement d'extrapolation, voire à la création de nouveaux matériels innovants quand le résultat projeté ne semble pas être atteint.

La ligne scientifique qui préside à toute notre approche est l'utilisation au meilleur niveau des techniques

Sensibility equations of the model were studied. It was shown that, depending on the parameters to be identified, specific operating conditions were to be used in order to increase the precision of the estimation. Then, experimental design strategies have been developed to reduce the incertitude on the estimates. A sequential approach which alternates estimation phases with designing phases was used. It was shown that phenomenon kinetics (mass transfer, reaction, liquid-liquid equilibrium) are fully taken into account by the strategy which proposes temperature dependant measurements times in agreement with these phenomenon kinetics. The proposed methodology has been applied in order to develop a model of the alkaline hydrolysis of n-amyl acetate in a batch reactor. A D-optimal strategy was used. It was shown that a reduced experimental effort was needed to get an accurate model of the synthesis (Issanchou et al., 2003 and 2005).

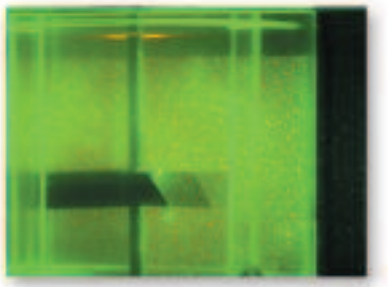
Once the model of the synthesis has been identified, it is then fed to an optimisation algorithm to find the best operating conditions. The objective is then to determine a temperature profile and/or a flow profile and/or operational time to improve a criterion which could be a concentration, a yield, a cost criterion. The stoichio-kinetic model established, the problem of optimal control is transformed into a nonlinear programming problem solved by a successive quadratic programming (SQP) method
Experimental work represents an important part of our activities. Moreover, it is important to test the whole methodology when applied to a real case. The work of Nadim Fakhfakh (2004) was devoted to modelling and optimization of the aldolic condensation of furfural on acetone. Products analysis during experiments carried out under various operating conditions allowed to have the necessary data for the stoichio-kinetic modeling. Once the model was established, optimization procedure allowed to determine the optimal operating conditions for the synthesis.
A simultaneous treatment of reacting and separation steps has been considered in the Ph.D. thesis of S. Elgue (2002).

4.3 Mixing Processes

Any apparatus in which a chemical or a physical transformation of matter is carried out can be referred to as a reactor. A key step for the efficiency of these operations is to handle the mixing of the different phases concerned (gas, liquid, particles). Mixing studies must therefore lead to the identification of the phenomena present and whether their role is limiting or not in function of the process objectives. , Furthermore, they must enable the development of design rules for scaling-up, as well as the creation of new innovative geometries.
Our scientific approach is essentially based on the use of advanced experimental and numerical techniques. Consequently, simple or coupled phenomena can be identified.

expérimentales et numériques développées par ailleurs. Ainsi sont caractérisés des phénomènes, des couplages de phénomènes non identifiés à ce jour. Ils sont quantifiés, ordonnés et nous conduisent à la conception de nouveaux objets. Le couplage d'un ensemble de métrologies existantes (numériques, expérimentales, voire théoriques) nous conduit à une ingénierie maîtrisée, conséquence d'approches multiphysiques.

Notre approche est fortement ancrée sur l'expérimentation. Celle-ci est menée sur des pilotes que nous concevons dans le souci d'y appliquer des métrologies performantes (PIV, LDV, caméras rapides, etc.), tout en prenant en compte la complexité de leur caractère réel (rhéologie des fluides, présence d'internes, taille des installations). L'approche de type simulation est complémentaire, et la mécanique des fluides numérique peut être considérée comme un outil de type particulier, un capteur numérique, nous permettant d'accéder à des informations locales non détectables expérimentalement, et également comme un outil d'aide à la conception, ou d'extrapolation (extrapolation physico-chimique, pour passer par exemple de fluides modèles aux fluides réels, ou extrapolation classique de taille, appelée scale-up). Le bon usage des outils de simulation (choix de modèles de turbulence, des schémas de discrétisation, etc.) à l'étude des systèmes agités fait intégralement partie de nos recherches (Aubin et al., 2004, Khopkar et al., 2003).



Visualisation des écoulements dans une cuve agitée par technique laser

Résultats

Réacteurs multi-étagés

De nombreuses applications impliquent de travailler dans des cuves agitées équipées de plusieurs agitateurs, que l'on appelle réacteurs multi-étagés. On peut citer en particulier

- -les dispersions gaz-liquide, où il se révèle avantageux de maximiser la longueur minimale des trajectoires des bulles de gaz entre le fond de cuve et la surface ;
- -les opérations où l'échange thermique est limitant, ce qui incline à préférer des géométries de cuves hautes, pour lesquelles le rapport surface/volume est important, ce qui permet d'augmenter l'aire d'échange (Letellier et al., 2002).

Ces systèmes sont le siège d'une hydrodynamique souvent complexe, car contrôlée par les interactions entre les différents étages d'agitation. Les études qui ont été menées dans ce cadre ont permis de faire progresser la compréhension des mécanismes d'interaction dans le cas d'écoulements turbulents ou laminaires, monophasiques ou gaz-liquide.
Un exemple représentatif est la mise en évidence de phénomènes à des échelles spatiales différentes dans le cas de systèmes multi-étagés très hauts (16 étages d'agitation) fonctionnant en régime turbulent. Ils sont caractérisés par l'apparition de macro-circulations associant plusieurs étages d'agitation, et apparemment contrôlés par les écoulements et la géométrie du fond de cuve, alors que très près des agitateurs, on peut retrouver les schémas d'aspiration/refoulement classiques. Ces phénomènes ont été repérés par une ana-

They then are quantified and classified, leading to the design and fabrication of new objects. Using this multiphysical approach, whereby numerical, experimental and theoretical methods are combined we are able to attain well controlled processes.
Experimental investigation is essential. It is carried out in pilot plants that are designed to accommodate equipment such as PIV, LDV or high velocity cameras, whilst taking into account the complexity of the process (rheological behaviour of fluids, internals, size of the apparatus,...) at the same time. The numerical approach using Computational Fluid Dynamics (CFD) is complementary to the experimental studies. We often use CFD as a 'numerical sensor', which enables local information that cannot be accessed experimentally to be obtained. It is also a tool for the design of new impellers, as well as for the scale-up (change in size) or the translation (change in fluids or conditions) the of the process system. The accurate use of CFD (choice of models, of approaches and numerical methodologies) is integrated into our investigations (Aubin et al., 2004; Khophar et al., 2003).

Results

Multi-stage stirred tanks

Many applications lead to choice of multi-stage stirred tanks, for example:

- *- gas dispersion, where it is naturally advantageous to maximize the minimum distance for a bubble to reach the surface ;*
- *- operations for which heat transfer is limiting, since tall reactors offer a higher surface/volume ratio.*

The hydrodynamics in these systems are often complex due to the strong interaction between the different agitators. Our recent studies have enabled a better understanding of the interaction mechanisms present in both turbulent and laminar flow regimes, as well as in single phase and gas-liquid systems.
An example is the development of phenomena at different spatial scales in the case of very high multi-stage system (16 impellers) in the turbulent flow regime. The hydrodynamics are characterized by the presence of macro-circulations (scale L1) associating several impeller stages, which are controlled by the flow pattern and the geometry of the tank bottom. In the close vicinity of the impellers, however, classical circulation patterns are found (scale L2<L1). This phenomenon has been identified via precise analysis of the flows using LDV in a pilot plant at scale of 1/6. This study, initially carried out to decrease fouling in these reactors, has lead to the definition of a new agitation system,

DÉPARTEMENT RMS

DEPARTMENT RMS

lyse fine des écoulements par LDV sur une maquette à l'échelle 1/6e. Cette étude, liée à la prise en compte de problèmes d'encrassement dans ces réacteurs, a amené à redéfinir une géométrie qui permette de générer des champs d'écoulements qui, en ralentissant la croissance des dépôts sur les internes du réacteur, autorise des cycles d'utilisation plus longs.

Doctorats de Valérie Esquerre, Carlos Rubio-Atoche, Rodolphe Sardeing

Dispersions gaz-liquide

La compréhension des mécanismes de dispersion d'un gaz dans une cuve agitée reste un axe privilégié de nos recherches, car il reste sur ce thème des blancs de connaissance. A la clé, la possibilité de faire évoluer les géométries des agitateurs (Sardeing et al., 2005), et la capacité à prédire la propriétés de dispersion d'un système.

Un effort particulier a été fait pour développer les outils de caractérisation des systèmes gaz-liquide. La vélocimétrie par images de particules (PIV), qui permet d'accéder aux champs instantanés des vitesses dans un plan du volume étudié, est le principal outil expérimental. De nombreux travaux ont porté sur l'influence des schémas d'écoulement sur la dispersion gaz-liquide et le transfert de matière. Ainsi, les systèmes axiaux à pompage vers le haut, non traditionnels, ont été finement analysés car nous détectons là des marges de progrès importantes (Sardeing et al., 2004 b). Nous avons mis en évidence et expliqué l'existence de zones de fonctionnement hydrodynamique dans lesquelles leurs performances en terme de transfert sont meilleures que celles des systèmes traditionnels à pompage vers le bas.
L'influence du mode de distribution du gaz dans la cuve sur le régime de dispersion et les performances de transfert était connue, mais très peu relatée dans les travaux déjà publiés. Des expériences ont permis de mettre en évidence l'importance du couplage entre les circulations primaires générées par l'agitateur et la trajectoire naturelle des bulles créées par le distributeur (Sardeing et al., 2004). Une large gamme de conditions a été balayée, incluant le fonctionnement avec des fluides très visqueux qui conduisent à un régime d'écoulement de transition (Re<1000). Ces études ont été appliquées à la dépollution des eaux usées et à la fermentation aérobie (Garcia-Cortes et al., 2004).

Dispersion gaz-liquide dans une cuve agitée

Les simulations numériques (CFD), souvent en collaboration avec l'Université de Sydney (Australie) ou le centre de recherche de Pune (Inde), viennent en appui des expériences (Khopkar et al., 2004). Elles restent néanmoins limitées par l'utilisation de modèles eulériens qui ne permettent pas d'accéder à l'état local de la dispersion, en particulier la distribution des diamètres de bulles, ou par des modèles lagrangiens non adaptés aux fortes rétentions de gaz. C'est pourquoi une étude en cours doit permettre, par une analyse locale précise de la dispersion, d'évaluer la pertinence de l'emploi de modèles de populations de bulles (type MUSIG dans ANSYS-CFX) dans les cuves agitées.

Doctorats de Carlos Rubio-Atoche, Rodolphe Sardeing, Daniel Garcia, Grégory Couerbe

enabling the generation of alternate circulation patterns, which reduce the scale rate and allow longer operating cycles with a similar power demand.

PhD Theses: Valérie Esquerre, Carlos Rubio-Atoche, Rodolphe Sardeing

Gas-Liquid Dispersions

A better understanding of the gas dispersion in agitated tanks remains one of our main activities. The challenge is to be able to predict the dispersion capacity of a given system and to improve impeller performance (Sardeing et al., 2005).
A special effort has been made to develop experimental tools that enable the characterization of gas-liquid systems. Particle Image Velocimetry, which allows instantaneous velocity fields in a plane to be captured, is the principal technique used. In addition, many studies have focussed on the influence of the flow patterns on gas dispersion and mass transfer. For example, we have characterised the operation of non traditional up-pumping axial flow impeller systems and have shown the large possibilities for process improvement offered by such non conventional setups (Sardeing et al., 2004b). In particular, we have shown that up-pumping impeller systems provide hydrodynamic conditions whereby the mass transfer efficiency is largely better than that available in traditional down-pumping configurations.
It is already known that the way the gas is fed into the liquid has an impact on the dispersion regime and the mass transfer, however very few results are available in the literature. Experiments have allowed us to identify the important relationship that exists between the primary circulation patterns induced by the impeller and the natural upwards trajectory of the bubbles generated by the gas sparger. A large range of operating conditions has been tested, including the case of highly viscous fluids in the transitory regime (Re<1000). These studies have been applied to waste water treatment and aerobic fermentations (Garcia-Cortes et al., 2004)..
Numerical simulations using CFD complete our experimental approach and have often been carried out in collaboration with the University of Sydney in Australia or the National Chemical Laboratory in Pune, India (Khophar et al., 2004). Until now, our studies have been restricted to the use of Eulerian approaches, which do not consider the local properties of the dispersed phase, in particular the distribution of bubble diameter, or by Lagrangian approaches, which are limited to to low gas hold-up. We are therefore currently carrying out a study devoted the precise experimental characterization of the gas phase, which should enable the development of more accurate populations models (as MUSIG in ANSYS-CFX) for stirred tank applications.

PhD theses: Carlos Rubio-Atoche, Rodolphe Sardeing, Daniel Garcia, Grégory Couerbe

Emulsification en cuve agitée

Il existe un certain nombre de procédés où l'opération d'émulsification est conduite en cuve agitée. Selon le régime d'écoulement, la taille des gouttes peut être contrôlée soit par la turbulence, soit par l'élongation. Un très grand nombre de variables liées à la géométrie de l'installation, aux conditions opératoires, et surtout aux propriétés physico-chimiques des composants de formulation, contrôlent les propriétés finales de l'émulsion (distribution de taille des gouttes influençant la rhéologie du produit). L'émulsion peut être obtenue soit par voie directe, soit par voie indirecte (inversion de phase). Les deux voies sont étudiées.

L'émulsification directe a été abordée par la biais de la modélisation, puis de l'optimisation sur critère variable. Selon l'opération, on peut chercher à minimiser par exemple l'énergie nécessaire, ou bien atteindre une taille d'émulsion donnée. Différentes méthodes sont alors examinées. Citons l'approche de modélisation par réseau de neurones suivi d'une optimisation géométrie/formulation/opération par algorithme génétique. Ce travail, dans sa phase de validation, se révèle extrêmement prometteur.
L'émulsification par inversion de phase est une technique qui permet d'atteindre des tailles de gouttes submicroniques avec une distribution très étroite. Nous travaillons à exploiter le diagramme d'état des phases en fonction de la formulation afin de déterminer les chemins les plus stables pour obtenir une émulsion donnée. Cette étude intègre des aspects comme le protocole d'incorporation des phases, ou la dynamique de modification du volume agité et de la rhéologie de l'émulsion.

Doctorats de Maysoun Dames (collaboration département PSI) et de Patricia Rodriguez-Rojas.

Dynamique des réacteurs agités

Deux études relèvent de cette orientation particulière.

Il s'agit d'une part d'explorer les capacités d'un réacteur agité à fonctionner en mode d'alimentation et de soutirage continus. En effet, des règles empiriques sont appliquées, qui ne tiennent compte ni de la nature des écoulements développés dans le réacteur, ni des zones de soutirage et surtout, d'alimentation. Des expériences par vélocimétrie laser doppler, confortées par des expériences numériques qui ont permis d'étendre les conditions opératoires, ont mis en évidence les zones d'apparition de court-circuits limitants les débits admissibles en fonction des conditions hydrodynamiques locales au point d'alimentation (Mavros et al., 2002 a et b).

Il s'agit d'autre part d'étudier l'injection d'une solution tueuse pour provoquer l'arrêt d'urgence d'une réaction de polymérisation en milieu dispersé. Ici, l'hydrodynamique générée dans la cuve et le mode d'injection sont des clés de la sécurité du procédé. Dans le cas d'un fonctionnement transitoire où l'agitation serait arrêtée brusquement, la réussite de l'opération killer est liée à la capacité à inclure rapidement le fluide injecté dans la masse agitée, et à l'y mélanger. L'écoulement peut alors passer d'un régime turbu-

Emulsification in stirred tanks

In many processes, emulsification is carried out in stirred tanks. Depending on the flow regime, the drop size is controlled by either turbulence or elongation. A very large number of parameters control the final properties of the emulsion since the drop size distribution directly acts on the product rheology and stability. The parameters involved are geometrical characteristics, operating conditions and physico-chemical properties of the fluids. The emulsion can be formed either directly or by phase inversion. The two possibilities are currently studied.
Direct emulsification has been investigated through modelling and optimization. Depending on the operation, the criterion could be minimum energy consumption, or a given size of drops... Amongst the different methods investigated, we have used a neural network modelling approach followed by an optimization of the geometry, formulation and operating conditions employing a genetic algorithm. The first validations of this work give very promising results.
Emulsification by phase inversion enables the formation of submicron drops with a very narrow size distribution. We work particularly on phase diagrams as a function of formulation in order to determine the most stable ways to get a given emulsion and consider aspects such as liquid incorporation, rheology and the dynamics of the stirred volume.

PhD Theses: Maysoun Dames (collaboration with Dept. PSE) and Patricia Rodriguez-Rojas

Dynamics of stirred tanks

Two studies are carried out in this area.

Firstly the capacity of a stirred tank to operate in a continuous mode is investigated. In fact, empirical rules are always applied to scale these reactors, which do not take into account the flow fields in the tank neither the position of the feed the outlet. Experiments with LDV that are complemented by CFD studies have enabled the identification of flow rates that lead to short-circuiting and an extension of the process operating conditions (Mavros et al., 2002 a and b).
The second study is devoted to the injection of liquid 'killer' solution to stop a polymerization reaction in an emergency. In this situation, the hydrodynamics in the stirred tank and the injection mode of the killer solution are the key elements for process security. When there is an unplanned power failure, agitation stops. This is followed by a phase of transitory flow whereby the efficiency of the killer solution is determined by the capacity of the system to blend the injected fluid with the bulk. At the same time, the flow goes from the turbulent to the laminar flow regime and then comes to a halt. One

DÉPARTEMENT RMS

lent à l'arrêt total via un régime laminaire. Un des verrous de cette étude est de prendre en compte ces transitions rapides caractérisées par une décroissance de Re.

Doctorat de Jean-Philippe Torré.

Génie de la polymérisation en milieu dispersé

L'utilisation de technologies permettant l'intensification de procédés de polymérisation en maîtrisant mieux les conditions de mise en œuvre est à la base des travaux menés dans le domaine de la polymérisation en suspension et en émulsion. Plus particulièrement l'influence du mélange et de l'agitation des composants du système réactionnel sur les propriétés du produit est analysée et quantifiée.
L'originalité des travaux repose sur :
- l'influence de la nature du mobile d'agitation sur la taille et la distribution de taille de particules de polymère obtenues par les méthodes de polymérisation en suspension et en émulsion dans une cuve agitée,
- l'utilisation de mélangeurs statiques pour le mélange des réactifs et polymérisation ensuite (en suspension et en émulsion) dans un réacteur tubulaire.

Les objectifs sont centrés sur le contrôle de la taille des particules des polymères, l'efficacité de l'agitateur du point de vue énergétique et la polymérisation dans un réacteur tubulaire.

Les deux méthodes de polymérisation sont caractérisées par la dispersion de monomère dans une phase continue aqueuse, mais elles diffèrent par le mécanisme de formation des particules et par leur taille. Dans les deux méthodes les phénomènes de rupture et de coalescence des gouttes influent largement sur la taille finale des particules de polymère, que l'on doit maîtriser.

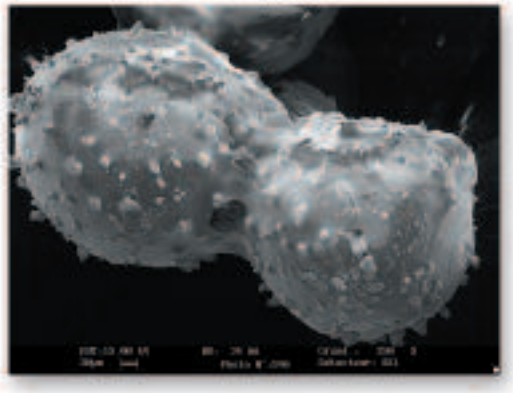
La figure ci-contre montre deux particules dans l'étape cruciale de la réaction, proche de leur point d'identité où la coalescence peut provoquer une large agglomération des particules. Le contrôle des conditions hydrodynamiques dans le réacteur de polymérisation permet d'éviter cette agglomération.

of the key points of this study is to be able to take into account these rapid changes characterized by a decrease of the Reynolds number.

PhD Thesis: Jean-Philippe Torré.

Engineering of Dispersed Polymerization

The use of technologies allowing the intensification of polymerization processes is the basis of the studies developed in the area of polymerization in emulsion and in suspension. More precisely, the influence of the mixing system on the final properties of the product is analysed and quantified.
The originality of this work lies in:
- the influence of the agitation system on the size and the size distribution of the polymer particles obtained in a stirred tank;
- the use of static mixers for reacting systems in a tubular apparatus.
The aim is to control particle size and the energetic efficiency of the system.
Both polymerization methods (suspension and emulsion) are characterized by the dispersion of the monomer into a continuous aqueous phase, but they differ by the mechanism of formation of the particles and their final size. In both methods, this size largely depends on coalescence and breakup phenomena.
This figure shows two particles during a key step of the reaction where impact can lead to important agglomeration between particles. The control of hydrodynamics in the reactor enables this to be avoided.



Agglomération des particules lors du procédé de polymérisation

5. Génie des systèmes microbiens

5. Microbial system engineering

Claire Albasi, Cédric Brandam, Marie Line Delia, Ahmed Lebrihi, Annie Leszkowicz, Florence Mathieu, Pierre Strehaiano, Patricia Taillandier

L'équipe " Génie des Systèmes Microbiens " est née d'une reconstruction autour de l'ancienne équipe " Fermentations et Bio-réacteurs ". Cette reconstruction s'est opérée avec le recrutement de Cédric BRANDAM (MCF) en 2002 (remplacement de J.P. RIBA, PR, décédé en novembre 2001) et l'accueil de Annie LESZKOWICZ (PR INP) en 2003. Nadine GABAS qui a réorienté ses activités vers le domaine de la gestion de la sécurité des procédés a quitté l'équipe. Par contre, Alain BERGEL et Régine BASSEGUY (département PEM) qui collaborent étroitement avec nous depuis 2000 se proposent de quitter le département PEM pour constituer avec notre équipe un nouveau département Bio-procédés et Systèmes Microbiens. Les nouvelles perspectives scientifiques offertes par ces rapprochements seront développées dans la partie " perspectives " de ce document. Les compétences ainsi agrandies de l'équipe permettent une approche plus intégrée des problèmes liés à la mise en oeuvre de micro-organismes et la méthode de travail qui sous-tend les travaux présentés s'appuie donc sur :

- l'obtention de données expérimentales précises et fiables sur le micro-organisme: recherche des gènes impliqués et analyse de leur régulation, dans certains cas ; analyse des flux métaboliques ; recherche d'altérations sur le génome (génotoxicité) si nécessaire.
- l'obtention de données expérimentales précises et fiables sur le réacteur : agitation, hydrodynamique, transferts gazeux tout spécialement
- l'établissement des cinétiques (de la réaction biologique et des transferts) et des stoechiométries
- l'analyse de la cohérence des données obtenues par la vérification des bilans élémentaires de matière
- l'analyse de ces informations avec la prise en compte de la génétique, du métabolisme et de la physiologie des micro-organismes
- l'établissement des modèles (en partenariat avec le département PSI)

Les études réalisées peuvent être déclinées sous trois rubriques en relation avec le secteur d'application : **industries alimentaires** : microbiologie des boissons fermentées pour une meilleure gestion du procédé; **santé** : substances bio-actives toxiques ou à effets thérapeutiques : voies de biosynthèse et procédés de production; **environnement** : traitement d'effluents en bio-réacteurs et analyse de la génotoxicité. Les travaux conduits dans chacune de ces thématiques le sont dans le cadre de " projets " placés sous la responsabilité de permanents de l'équipe dont les compétences sont complémentaires. Il est ainsi possible d'aborder tous les aspects de l'étude avec en objectif final de donner les outils pour une meilleure gestion d'un procédé existant ou de proposer un nouveau procédé. Nous avons par exemple mis au point (brevet) un nouvel appareil de recherche fondamentale pour l'étude de populations microbiennes mixtes et développé un procédé d'encapsulation de levures ou de bactéries actuellement en développement industriel.

The team " Microbial System Engineering " was born in 2003 when C. BRANDAM and A. LESZKOWICZ joined the team previously called "Fermentation et Bio-réacteurs" after the death of J.P. RIBA and the departure of N.GABAS to join the team "Procédés pour la Chimie Fine". Also, A. BERGEL and R. BASSEGUY who have been working with us for 4 years are on the way to join definitively our group. The extended competences make possible a more integrated study of the problems linked to the use of microorganisms and thus the working method is based on:

- the acquisition of reliable data on the microorganism and on the reactor
- the setting up of kinetics and stoichiometry
- the analysis of these data keeping into account genetics, metabolism and physiology of the microorganism (in some specific environmental studies the geno-toxicity of some toxic molecules is analysed).
- modelling the microbial behaviour (partner: PSE department).

The studies may be presented in three points in relation to the field of application: Food Industry; Health and Environment. The studies have as objective to define a better management of a process or to define a new process. As an example, a device for the study of mixed cultures has been designed and patented and also a new process for the entrapment of microbial cells was designed in our lab and is nowadays developed at an industrial scale for sparkling wine making.

5.1 Food Industry: microbiology of fermented beverages for a better management of the process

Some investigations concern the production of microbial cells (bacteria and yeasts) for winemaking. Using previous results obtained in the lab, A.SERRA (thesis 2004) succeeded to define the optimal conditions for the production of hybrid yeast cells (Serra et al., 2003; Aranda et al., 2004). Also, F. RAMON PORTUGAL is in charge of the industrial development of entrapped yeast cells for sparkling wine making and of production of bacterial cells for immobilization (Silva et al., 2003). Some research is also done in order to set up a better and well define process for Tequila production (D.M. DIAZ MONTANO, thesis 2004/partner: CIATEJ, Mexico). Fundamental work on the alcoholic fermentation modelling taking into account the thermodynamics of the medium is performed by H. AKIN (in cooperation with X. MEYER, department PSE).

In winemaking it is very often observed that different microorganisms have to play a role acting together or successively. Thus their management requires a good knowled-

DÉPARTEMENT RMS

5.1 Industries alimentaires : microbiologie des boissons fermentées pour une meilleure gestion du procédé

Il s'agit ici, pour un procédé donné d'élaboration d'une boisson, d'analyser le comportement de la microflore dans son environnement industriel afin de proposer une gestion rigoureuse du procédé ou un procédé nouveau. Un des axes de travail récurrent concerne la production de micro-organismes (levures ou bactéries) pour la vinification. En s'appuyant sur les résultats acquis par l'équipe lors de travaux de antérieurs A. SERRA (thèse 2004, partenariat Laffort œnologie) a optimisé les conditions de production de levures hybrides (Serra et al., 2003 ; Aranda et al., 2004)) et elle poursuit ces études au laboratoire dans le cadre d'un détachement par son employeur. Dans l'objectif de la valorisation du procédé d'immobilisation de cellules microbiennes mis au point au laboratoire (cf. rapport précédent) la définition des contraintes liées à la production industrielle et à la mise en œuvre sur site de vinification de levures et de bactéries immobilisées est actuellement conduite par F. RAMON PORTUGAL Ingénieur détaché au laboratoire par Proneol Lda.(Silva et al., 2003).

Dans le domaine applicatif nous travaillons à définir une gestion plus rigoureuse du micro-organisme et de son activité dans son environnement : ainsi, D. M. DIAZ MONTANO (thèse 2004, partenariat CIATEJ, Mexique, cadre PCP) s'est intéressée à l'étape fermentaire de l'élaboration de la Tequila : ce procédé très traditionnel est mal défini et donc mal maîtrisé et ce travail a apporté les données physiologiques et cinétiques indispensables (maîtrise de la genèse des arômes) à une conduite sure et reproductible de l'étape fermentaire.

Sur un plan plus fondamental, en relation étroite avec X. MEYER (département PSI) nous poursuivons les études sur la modélisation de la fermentation alcoolique (thèse en cours de H. AKIN) avec la prise en compte de la thermodynamique du milieu réactionnel.

Dans les procédés industriels du domaine œnologique, il est fréquent que plusieurs micro-organismes interviennent (soit simultanément soit en succession) et il est donc nécessaire de connaître (définir, quantifier, modéliser) les mécanismes de leur interactions réciproques. Pour ce type d'étude, nous avons développé un bio-réacteur spécifique (voir schéma. Albasi et al., 2002 ; Pommier et al., 2002), breveté et utilisé par d'autres laboratoires (LBB : UMR-CNRS 5504; Unité Biochimie et Structure des Protéines INRA) à qui nous l'avons proposé. Les études conduites grâce à cet appareillage spécifique ont abouti à la thèse de S. POMMIER (2003) sur la modélisation de l'effet Killer chez les levures *Saccharomyces* et se poursuivent (thèse en cours de N. NEHME) avec l'analyse des interactions entre levures de fermentation alcoolique *(Saccharomyces)* et bactéries de la fermentation malo-lactique *(Oenococcus)*. Elles font l'objet de quelques contrats industriels et d'un partenariat avec le Laboratoire de Biotechnologie-Bioprocédés (UMR-CNRS 5504) de l'INSA (BQR 2004 INP/INSA), (Taillandier et al., 2002).

Enfin, en œnologie, un problème majeur rencontré dans la gestion de la fermentation alcoolique est celui de la contamination par une microflore négative car la matière première ne fait pas l'objet de traitement de

ge of their interactions. To perform this kind of study a special apparatus was designed in the lab (Albasi et al., 2002; Pommier et al. 2002) and is commonly used (also in some others lab in France): it made it possible to define a model for the Killer phenomenon (a case of amensalism with Saccharomyces) (S. POMMIER, thesis 2003) and is now used to study the interactions between Saccharomyces yeast and lactic acid bacteria (Oenococcus) (thesis of N. NEHME).

At least, industrial fermentation processes are sometimes polluted by a microbial contamination and thus the behaviour of the microbial population during the wine ageing was analyzed by B. DIVOL (thesis 2004). Nowadays, in wine making pollution by Brettanomyces yeasts is a real problem as these yeasts are able to synthesize off flavours (ethyl phenols). In relationship with some public and private partners basic and applied research works were done (W. MEDAWAR, thesis 2004), and are still running: C. CASTRO MARTINEZ, P. BARBIN, V. RENOUF.

5.2 Health: synthesis and production of toxic or therapeutic molecules

A sound work was made in order to gain a reliable knowledge on the ability of Aspergillus strains to produce some molecules acting as pesticides or human toxin. These studies were carried out in the frame of 3 European projects. The biosynthesis pathway of this class of products is under investigations (thesis of P. DAO HUY, thesis of A. ATAOUI, thesis of G. AWAD, thesis of O. PUEL). More specifically the occurrence of Ochratoxine A (a human toxin) in fruits, cereals or various seeds was studied and it was shown that this molecule was mainly synthesised before the harvest and not during the treatment process (H. BEJAOUI, thesis). Also some others toxins (such as aflatoxine, citrinine...) are researched (thesis of A. MOLINIE, 2004; of T. NGUYEN and M. TOZLOVANU) as well as different ways for the elimination of the toxins are investigated (thesis of A. EL KHOURY, H. BEJAOUI, D. CANADAS, A. PETCHGKAEW), (Faucet et al., 2003; Bejaoui et al., 2004; Canadas et al., 2005;).

In cooperation with Algeria, a research project has been running for 5 years in order to find out new microbial strains able to produce new therapeutic molecules: 10 new strains were discovered in the Sahara and among them 2 had a very high ability to produce interesting molecules; these molecules were purified and their structures were elucidated (A. ZITOUNI, thesis, 2004; Zitouni et al., 2004). An efficient and new antifungal substance is under investigation, with the purpose of its production (thesis of N. BOURAS). Also, a co-operation with Cuba and C. XUEREB (agitation and mixing team) had as objective to optimize the production of antibiotics by Streptomyces (D. GARCIA, thesis 2003).

destruction de la microflore (au contraire de ce qui se passe en laiterie ou en brasserie par exemple). Ces contaminations conduisent à des pertes de qualité donc économiques et leur étude est depuis longtemps un thème fort de l'équipe (Aguilar Uscanga et al., 2003 ; Medawar et al., 2003). Notre approche porte d'abord sur la connaissance du comportement du " contaminant ", spécifiquement la levure " *Brettanomyces* ". Cette levure responsable de la synthèse d'ethyl-phénols qui donnent une note olfactive très négative au vin (odeur d'écurie) est actuellement le micro-organisme de contamination qui pose le plus de problème à la profession (on considère que plus de 20% des vins sont concernés). Les travaux antérieurs (cf. rapport 1998-2001) sont poursuivis tant dans la connaissance fondamentale (thèse de W. MEDAWAR, 2003, cotutelle Université saint Joseph, Liban; thèse en cours de C. CASTRO MARTINEZ) que dans les aspects plus pratiques (thèses en cours de P. BARBIN, partenariat Oenodev S.A. et Cave de Buzet; de V. RENOUF, partenariat INRA sous contrat industriel). Le devenir de la microflore des vins en cours d'élevage a aussi fait l'objet d'un travail conduit en collaboration avec une équipe INRA de la faculté d'œnologie de Bordeaux (thèse de B. DIVOL, 2004).

5.2 Santé : synthèse et production de substances bio-actives toxiques ou à effets thérapeutiques

Nombre de micro-organismes sont capables de produire des substances qui peuvent avoir des effets positifs (antibiothérapie) ou négatifs (toxines alimentaires par exemple). Le souci constamment exprimé de sécurité alimentaire conduit donc à rechercher une meilleure connaissance des micro-organismes producteurs comme à évaluer le procédé vis-à-vis de la maîtrise du risque.
Les travaux conduits portent sur les aspects complémentaires de la compréhension des mécanismes de contrôle de la production de métabolites secondaires chez *Aspergillus ochraceus* ; de la gestion de la présence de l'ochratoxine A dans la filière viti-vinicole ; de l'évaluation du risque lié à la présence de l'ochratoxine A (OTA).
Aspergillus ochraceus NRRL 3174 produit la melléine (herbicide) et deux mycotoxines (ochratoxine et acide pénicillique). Dans le but de comprendre les régulations exercées sur la biosynthèse de ces métabolites (tous de nature polycétonique) des gènes de la voie de biosynthèse de l'ochratoxine A (OTA) et de l'acide pénicillique ont été recherchés et caractérisés (thèses en cours de P. DAO HUY et de A. ATAOUI). Des mutants ciblés ont été fabriqués. Parmi ces mutants certains ne produisent plus ces métabolites et d'autres produisent ou surproduisent spécifiquement l'un ou l'autre (thèse de G. AWAD, 2005). O. PUEL (thèse en cours) pour sa part s'intéresse aux mécanismes de synthèse de la patuline (autre toxine) produite par certains champignons.
Des études récentes ont alerté les services sanitaires des pays producteurs ou consommateurs sur la présence d'OTA dans les produits issus de la vigne. Dans le cadre d'un projet européen et d'un projet national (AQS)

5.3 Environment: wastewater treatment using a bio-reactor and genotoxicity analysis

On the first item, studies done in our lab dealt with the treatment of textile dyestuff by a microbial complex in an anaerobic-aerobic column reactor (N. SUPAKA, thesis 2003; Supaka et al., 2004); this was done in relationship with Thailand. Also, we were interested in the use of a hollow fibre bioreactor (BRM) for the domestic waste waters treatment (Albasi et al., 2005). Here the goal is to characterize the relationships between the physiological state of the sludge and its filterability (thesis of M.E. HERNANDEZ ROJAS) as well as to define the best operating conditions (thesis of R. VANKAAM), (Hernandez Rojas et al., 2005). Also the formation of a specific biofilm (Burkholderia) on a membrane in order to increase its efficiency is investigated (thesis of S. MARC in cooperation with UMR-CNRS 6522). In the field of the relationships between biology and electrochemistry, different studies (especially on biofilms) have been carried out for 4 years in collaboration with A. Bergel and R. Basseguy from the department PEM.

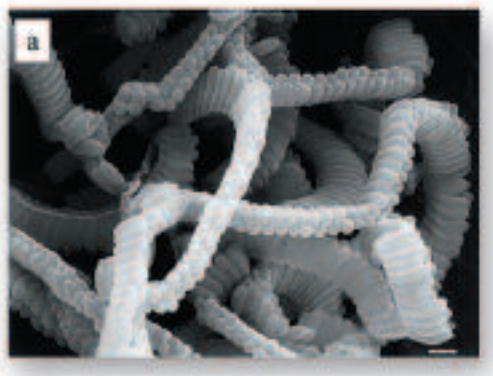
On the second item (genotoxicity), we are interested in the use of bio-markers to appreciate the real toxicity of a molecule (pesticides, microbial toxins....). An original technique was developed: it is based on the search of DNA adducts which are due to the fixation of a toxic substance on the DNA (Amat et al., 2004). Using this technique it was possible to quantify the dose of toxic able to be biologically active (A. AMAT, thesis 2004). Also it is possible to use it to appreciate the effect of some pesticides on yeast cells (thesis of D. JAWICH in collaboration with USJ, Lebanon) or also on the human fertility (GAMATOX project).

DÉPARTEMENT RMS

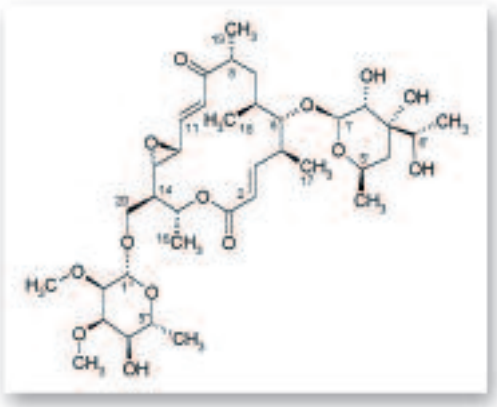
(thèse en cours de H. BEJAOUI), nous avons dans un premier temps étudié la dynamique des populations fongiques ochratoxinogènes durant la maturation du raisin ce qui nous a permis de montrer que l'espèce prépondérante est *Aspergillus carbonarius*, que la production de l'OTA se fait dans le vignoble lors de la maturation mais qu'aucune production n'est constatée lors de la fermentation alcoolique. A la suite de ces observations nous avons analysé différentes voies (Bejaoui et al., 2004) pour diminuer, voire éliminer l'OTA du moût de raisin (thèses en cours de A. EL KHOURY, co-tutelle Université Saint Joseph, Liban et de H. BEJAOUI).

Après la récolte et avant leur consommation, les céréales et divers produits végétaux subissent des phases de stockage durant lesquelles des moisissures productrices de toxines peuvent infester les grains. Nos objectifs sont d'étudier d'amont en aval les origines de ces contaminations et les risques qu'elles présentent. Dans le cadre de collaborations avec l'Institut National de la Consommation nous avons entamé un état des lieux des contaminations en mycotoxines de stockage (Ochratoxine A, Citrinine, Aflatoxine, Fumonisine,) dans des produits céréaliers, les noix, le café, les olives ... ainsi que dans des produits finis (thèse de A. MOLINIE, 2004; thèses en cours de T. NGUYEN, et de M. TOZLOVANU). Le bilan inquiétant nous a ensuite conduit à rechercher l'origine des contaminations: isolement des moisissures et étude de leurs conditions de production. De plus nous nous attachons à identifier les mécanismes impliqués dans l'apparition notamment de néphropathie et de tumeurs induites par ces toxines (projets région et européen). Nous avons montré que l'OTA est un cancérogène génotoxique par action directe de formation d'adduits covalents à l'ADN (thèse en cours de V. FAUCET ; Faucet et al., 2003). Dans la recherche de procédés de réduction du niveau de mycotoxines nous testons l'efficacité de l'ozonation (Canadas et al., 2005) du blé sur le niveau d'OTA (traitement OXYGREEN / partenariat avec Goemar) (thèse en cours de D. CANADAS) et l'utilisation de bactéries sélectionnées sur la réduction du niveau d'aflatoxine dans des produits fermentés a base de soja (thèse en cours d' A. PETCHKONGKAEW).

Enfin, dans le cadre de la recherche et de la caractérisation de nouvelles molécules antibiotiques, antifongiques et anticancéreuses une dizaine de nouvelles espèces d'Actinomycetes rares ont été isolées dans le sud saharien (Action Intégrée avec l'Algérie). Deux d'entre elles ont montré une aptitude intéressante à produire des molécules présentant une activité antibiotique, antifongique ou anticancéreuse ; ces molécules ont été purifiées et leurs structures chimiques complètement déterminées (thèse de A. ZITOUNI, 2004 ; Zitouni et al., 2004). Un système d'induction de ces nouveaux antifongiques (de la famille des pyrrothines) a été mis au point et les études en cours visent à améliorer la production de ces dérivés (thèse en cours de N. BOURAS). Dans ce même domaine, une étude a été développée en collaboration avec l'équipe " agitation-mélange " (C. XUEREB) du département et le centre de chimie pharmaceutique de Cuba concernant l'hydrodynamique de bio-réacteurs de production d'antibiotiques par *Streptomyces* (thèse de Daniel GARCIA, 2003).



Microphotographie de Planomonospora.



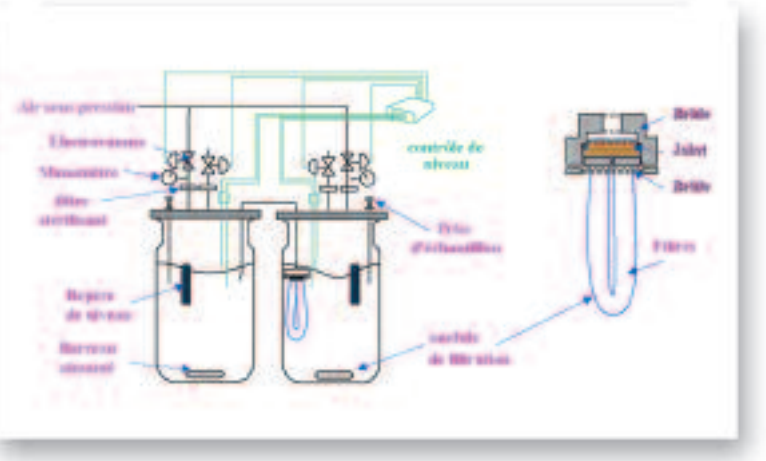
Structure de l'Aldgamycine

5.3 Environnement : traitement d'effluents en bio-réacteurs et analyse de la génotoxicité

Sur le premier point, nous nous intéressons d'une part au traitement biologique d'effluents industriels (colorants de l'industrie textile) par un complexe microbien en colonne à bulles (thèse de N. SUPAKA, 2003 ; co-tutelle avec Université de Chulalongkorn, Thailande ; Supaka et al., 2004) et d'autre part à la mise en œuvre de bio-réacteurs à fibres creuses immergées (BRM) pour le traitement des eaux domestiques (Albasi et al., 2005). Suite à des études préliminaires sur la filtration de boues par membrane, deux thèses complémentaires sont menées actuellement sur ce BRM par M. E. HERNANDEZ ROJAS et R. VANKAAM: la première qui s'intègre dans le programme Prosetia (CNRS – INRA) propose une étude ciblée de la relation entre l'état physiologique d'une boue de BRM et sa filtrabilité en fonction des conditions opératoires (âge de la boue, concentration en biomasse), (Hernanadez Rojas et al., 2005) ; la seconde (contrat " région " avec l'INSA – LIPE et PolyMem S.A.) a pour objectif de définir le panel de conditions opératoires fiables conduisant à un procédé rentable. L'accent est mis sur l'influence de l'aération (anémométrie film chaud avec A.M. BILLET de l'équipe " contacteurs multiphasiques ") et sur l'étude rhéologique de la boue sous contrainte de cisaillement (M. ALLIET de l'équipe " agitation-mélange "). La validation des résultats issus de ces deux études est en cours par des essais sur site (station d'épuration de Brax (31)) conduits en collaboration avec La Communauté d'Agglomération du Grand Toulouse.

La thématique " biofilms " se poursuit en collaboration avec le département PEM (A. BERGEL et R. BASSEGUY) depuis 2000 autour de l'ingénierie des biofilms. De plus, depuis novembre 2003, S. MARC, (thèse en cours, co-direction avec l' UMR CNRS 6522 de Rouen) analyse la fonctionnalisation d'une membrane par un biofilm formé à partir d'une souche de bactérie (Burkholderia cepacia) choisie pour ses propriétés de dégradation du trichloréthylène. L'objectif est de quantifier les capacités de transfert diffusif d'une membrane supportant un biofilm

Sur le deuxième point qui touche à la définition et à la validation de bio-marqueurs pour évaluer la toxicité d'un effluent ou d'une pollution accidentelle nous utilisons la technique originale, apportée dans l'équipe par A. LESZKOWICZ, basée sur la recherche des adduits à l'ADN (fixation des agents toxiques sur l'ADN des cellules touchées). Cette technique (spécificité reconnue de l'équipe) (Amat et al., 2004) offre l'avantage d'une très grande sensibilité et la possibilité de quantifier la dose de contaminants biologiquement actifs par la quantification des adduits a été démontrée (thèse de A. AMAT , 2004 ; projet européen MONERIKA avec l'IFREMER). Cette approche est également utilisée pour évaluer l'impact de divers pesticides sur des levures du vin ou du cidre (thèse en cours de D. JAWICH ; co-tutelle Université Saint Joseph, Liban) en relation avec leurs caractéristiques cinétiques de croissance et de fermentation. Cette approche est étendue à l'analyse de l'effet de pesticides sur la fertilité humaine (projet région " GAMATOX ").



Bioréacteur à fibres creuses et circulation par surpression

Analyse de la Production Scientifique

A survey of the scientific publications

Ce bilan couvre la période 1999-2004, c'est-à-dire l'intégralité du dernier contrat quadriennal, ainsi que les deux années pleines qui ont suivi. L'objectif est d'essayer de dessiner une image du laboratoire à partir d'éléments tels que peuvent se les procurer des collègues, des étudiants, des industriels, français ou étrangers, qui consultent des journaux scientifiques via des bases de données.

Méthode

Les publications d'un laboratoire prennent des formes extrêmement diverses. Pour réaliser ce bilan nous avons décidé de ne pas prendre en compte toutes les formes de publications, mais seulement des articles de revue. Brevets, actes de colloques, articles de vulgarisation sont laissés de coté pour l'instant, tout en sachant qu'ils constituent des éléments importants de mesure d'une activité scientifique.

Pour le réaliser trois sources de données ont été utilisées :

- La base INIST CNRS, qui est alimentée par les chercheurs (mode push).
- La base Science Direct (Elsevier) mise à jour automatiquement (mode Pull). Elle contient surtout les journaux Elsevier, mais elle est très consultée par le LGC, car accessible par l'intégralité du laboratoire.
- La base " Web of Science ", mise à jour par l'ISI (Science citation Index) (mode Pull également), qui est plus large que Science Direct qu'elle contient, mais qui n'est pas accessible actuellement par tous les personnels du LGC.

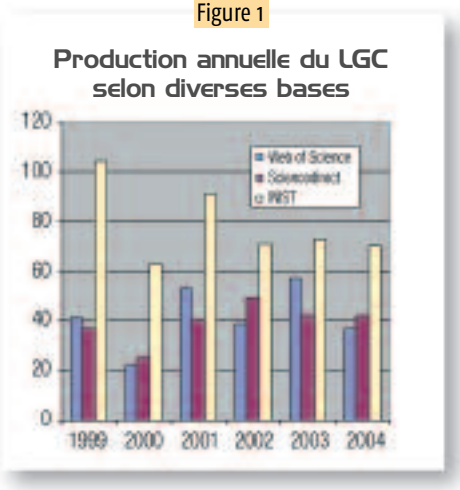
Résultats et commentaires

Publications, le point de vue du laboratoire

Le Laboratoire de Génie Chimique a publié sur 6 années pleines 472 articles, soit un peu plus de 1,5 par semaine. 84 chercheurs et enseignants-chercheurs sont affectés au laboratoire, ce qui donne une moyenne de 0.9 article par an et par chercheur. Cette moyenne cache cependant des disparités, commentées un peu plus loin.

Sur les 3 dernières années, ces données montrent une stabilisation de l'activité de publication, quelle que soit la base utilisée (Figure 1). On ne décèle pas, pour l'instant d'incidence du 21 Septembre 2001 sur notre rythme de publication ce qui illustre encore une fois la réactivité des personnels du laboratoire face à cette situation d'une exceptionnelle gravité.

Figure 1



This survey covers the period 1999-2004. The aim was to depict the image given by our laboratory via its scientific publications, to students, engineers or researchers who read scientific literature throughout International Data bases.

Method

Although the scientific communication is diverse, we have only considered here refereed papers. We acknowledge that the study would usefully be extended to patents, invited lectures, communications, etc...

Two internationally known data bases have been used here:

ISI's "Web of Science" and Elsevier's "Sciendirect", for which authors have nothing to do to be referenced in (Pull mode), but which do not cover all Journals, and INIST', a CNRS proprietary database, which is fed by authors (push mode) but is not of free access.

Results and comments

Publications : A lab point of view

The LGC has published 472 papers over 6 years, i.e. slightly over 1.5 per week. Since we have 84 faculty members and CNRS researchers, this is equivalent to an average of 0.9 paper per capita per annum.

Over the last 3 years, the production has stabilised, whatever the data base considered (Fig 1). No impact of the 21 /11/01 blast can be detected so far on these figures, which can be seen as an index of the strong, positive reaction of lab members to this exceptionally dreadful event.

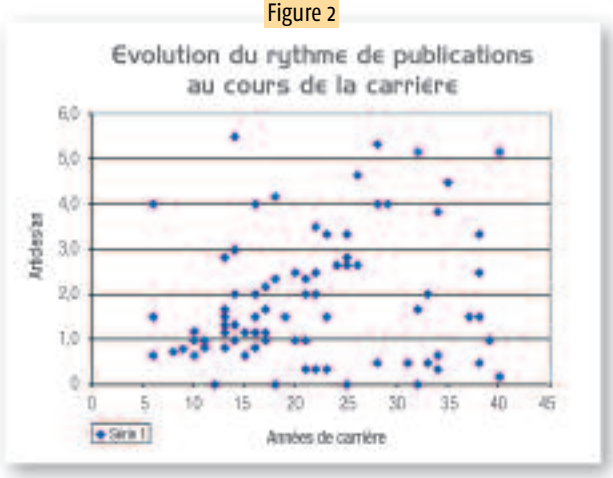
One should note here that only 50% of the papers appear through the "push" data base, which means that although producing many papers, we can miss the target of a worldwide readership.

On notera que les bases " pull ", bien que très utilisées, ne répertorient qu'environ 50% des articles que le laboratoire revendique. Ceci signifie qu'au delà de la satisfaction légitime de signer un résultat, nous sommes peut être moins " exposés " que nous ne le pensons, à moins que certaines revues, destinées à des publics très ciblés, ne soient choisies à dessein loin des circuits classiques de diffusion de l'information scientifique.

Publications : le point de vue des auteurs

On note que la fréquence de publication par personne est plus élevée que celle vue au niveau du laboratoire dans son ensemble, à cause des co-signatures d'un même papier. On obtient une moyenne de 1,8 article par chercheur/ enseignant, avec un écart type de 0,13. Si on regarde d'un peu plus près le rythme de publication en fonction de l'avancement dans la carrière, on obtient la figure 2, qui montre que les situations se différentient progressivement.

Figure 2



Comment publions-nous ?

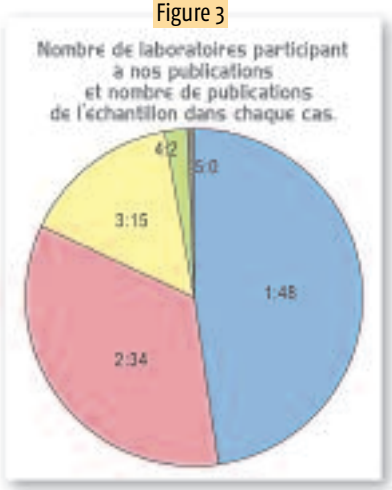
Cet inventaire a permis de faire ressortir un nombre moyen de co-signatures autour de 2,0. En première approche, on peut conclure que la cellule opérationnelle de recherche est constituée de 2 permanents. C'est bien sur ce binôme " publiant " que repose la responsabilité de publier (quoi, où, quand) et donc à partir de là que se forge l'image du laboratoire.

- si la moyenne des co signatures se centre sur 2, il y a beaucoup de co signatures à 3 et d'articles signés d'un seul permanent du labo (seul ou co auteur avec des chercheurs d'autres laboratoires).
- Il y a environ 8% d'articles signés uniquement de permanents, c'est-à-dire que nous pratiquons peu la recherche " de chercheurs ". Nous pouvons aussi lire ceci en concluant que les étudiants sont indispensables à la recherche du LGC ou que nous savons associer presque systématiquement ces étudiants à nos travaux.

Avec qui publions-nous ?

Cette lecture a consisté à prendre un échantillon de 200 publications sur la période 2000-2004 et à analyser les adresses des auteurs. La source INIST n'est pas utilisable ici car les adresses n'y sont pas disponibles. La figure 3 montre que la moitié (48%) de nos articles sont publiés sous

Figure 3



Publications: An authors' point of view

One note that the rate of publications (1.8 paper/capita) is higher here than in the lab figures : this is ascribed to co-authoring (see below). The number of papers published per capita as a function of the experience (fig. 2) shows a very large scattering.

How do we manage to publish?

This survey shows that as an average, each paper is co-signed by 2 permanent members of LGC: this pair is then the "publishing unit", who decides when, where and what to publish. Only 8% of the papers have been signed by permanents members only, which can be read as: The laboratory is very much indebted to students and post docs.

Whom which do we publish?

We have analysed the affiliations of a short list of 200 papers published in 2000-2004. Figure 3 shows that about half of papers are published with only one affiliation (ours). The rest is shared with one other institution (34%) or 2 or more (17%).

When looking Figure 4 at our co-authors, (52% of the total then), one observes that about 28% are academic colleagues from Toulouse, 23% are French academic, 1/3 are academic from foreign countries, and 17% are from industry.
A look at the countries which whom we publish shows (see

la seule adresse du laboratoire, et l'autre moitié en co-signature avec des chercheurs d'autres structures : dans 34% des cas avec une seule autre institution, et dans 17% des cas avec 2 ou plus de deux autres institutions.

Si on s'intéresse à l'origine de nos co-signataires (52% des articles donc), on constate sur la figure 4, qu'environ environ 28% de ces co-signataires sont des universitaires originaires de Toulouse ou de sa proche région, 23% sont des universitaires français (non Toulousains donc 1/3 sont des universitaires étrangers et le reste, 17 %, sont issus de l'industrie, en général française. Il y a donc un assez bon équilibre entre nos collaborations : la moitié de nos recherches publiées sont menées avec des collaborations extérieures, et ces collaborations sont assez bien réparties entre le site toulousain, des équipes françaises, étrangères et industrielles.

Un regard sur les pays avec lesquels nous publions montre cependant que si leur nombre est assez élevé, les chiffres ne sont significatifs qu'avec l'Inde et Cuba, avec lesquels on observe au cours des dernières années une rythme régulier de publication (tableau 1).

Figure 4

Pays	Co-publications 2000-2004	Pays	Co-publications 2000-2004
Afrique du Sud	1	Inde	7
Algérie	2	Mexique	2
Australie	2	Russie	1
Cameroun	1	Suisse	1
Canada	1	Thailande	1
Corée	1	Tunisie	1
Cuba	5	UK	2
Espagne	1	USA	1
Finlande	1		

Tableau 1 : Pays avec lesquels le LGC a publié au cours des années 1999-2004, et nombres d'articles

Où publions-nous ?

Cette partie du bilan a consisté à regarder dans quels journaux nous avons publié sur 6 ans. On retrouve des articles dans 110 journaux à partir de la base INIST, soit en moyenne 1 article tous les 18 mois dans chaque journal. Cette moyenne traduit mal la réalité, car il y a un grand nombre de journaux marginaux. Ainsi nous n'avons publié qu'un article en 6 ans dans 55 des 110 journaux. Par contre, la moitié des articles sont

table 1) that if the total number is reasonable, the figures are quite scattered, and only significant with India and Cuba.

Countries whom which LGC has published during the period 1999-2004, and number of refereed papers.

Where do we publish?

This part of the survey regards the Journals and their scientific topics. From the INIST data base (Push), we find that we have published in 110 different journals, i.e. a paper every 18 months in each journal as an average. In fact, we published only one paper in 55 Journals over the 6 years period of time. However, half of the papers have been published in 15 Journal which are ranked (from the most popular) here below: Powder Technology, Chemical Engineering Science, Desalination, Journal of Membrane Science, Computers Chemical Engineering, Entropie, Industrial and Engineering Chemistry Research, Computer Aided Chemical Engineering, Journal of applied electrochemistry, Journal de Physique IV, Catalysis Today, Chemical Engineering and processing, Electrochemica Acta, Canadian J. of Chemical Eng., Chemical Engineering Journal, Chemical Engineering Research and Design.

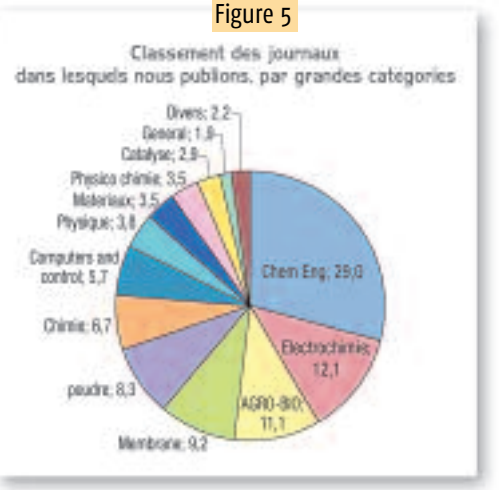
If we split the Journals into scientific disciplines (Chemical engineering, Electrochemistry, chemistry) or topical families (Powders, Membranes, Biotech., etc.), one observes figure 5 that the Chemical engineering category is by far dominant in LGC.

This picture is in agreement with the general purpose of our laboratory and with the way the scientific activity has been recently organised.

publiés dans 15 journaux, cités ici par nombre décroissant d'articles publiés : Powder Technology, Chemical Engineering Science, Desalination, Journal of Membrane Science, Computers Chemical Engineering, Entropie, Industrial and Engineering Chemistry Research, Computer Aided Chemical Engineering, Journal of applied electrochemistry, Journal de Physique IV, Catalysis Today, Chemical Engineering and processing, Electrochemica Acta, Canadian J. of Chemical Eng., Chemical Engineering Journal, Chemical Engineering Research and Design.

Si on classe les journaux par disciplines scientifiques (Génie Chimique, Electro-chimie, Chimie), ou par secteurs d'application (Poudres, membranes, Agro-Bio, etc.), on s'aperçoit (figure 5) que la catégorie Génie Chimique domine largement avec 29% des articles. Autour, on retrouve des journaux des sciences connexes (électrochimie 12%, Chimie et catalyse (9,6%), physique et physico chimie (7,3%)) et des journaux sectoriels (Agro-bio 11% ; Membranes 9% ; poudres 8,3%, Simulation commande 5,7%, etc.) .

Figure 5



A partir de là, on voit que notre laboratoire peut justifier son affichage de laboratoire de recherche généraliste (générique pourrions nous dire) en Génie Chimique puisque près d'un article sur trois contribue au développement du Génie Chimique en général. On voit se dessiner une cohérence entre les domaines de publication et l'organisation en départements, (BioSim, Procédés Electrochimiques, procédés et systèmes, GIMD, RMS). L'énergie n'apparaît pas, la catalyse et les matériaux sont présents au niveau d'actions de recherche.

Les mots clés du web et les bases de données.

Nous nous sommes intéressés à la cohérence entre les mots clés affichés sur le site web (Printemps 2005), et la visibilité de nos publications, en cherchant les publications parues à Toulouse entre 1999 et 2004 inclus, comportant ces mots dans le titre, les mots clés ou le texte entier (approche large a priori). Le résultat, même si il est incomplet car il y a des mots clés difficiles à traduire, est édifiant : Nous retrouvons seulement 76 articles par les mots clés, sur les 235 que cette même base trouve, si on l'interroge selon le champ des adresses (entrée administrative mais non technique), c'est-à-dire une identification par nos mots clés à 30% seulement.

Ce résultat devrait nous conduire à mieux coordonner le choix des mots clés et le titre de nos articles et à compléter rapidement le site web.

Key words, web site and data bases.

We have cross checked the keywords appearing on our web site (Spring 2005) with the words appearing in the published papers (search engines throughout the full text). We found only 76 papers matching the keywords as they appear on our web site out of a list of 235, which is a very poor result. The selection of keywords must be improved.

Comparison with a European Laboratory: the department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College of London.

This comparison regards figures only, and is based on the papers found via ScienceDirect and published by researchers from the chemical engineering department of the Imperial College of London. With 49 professors and associate professors, 13 research officers, 11 visiting professors and 12 research Associates, i.e. 85 people (excl. of PhD students) this Department has about the same size as LGC. The results shows that our rate of publication is 20% lower than Imperial, over 6 years.

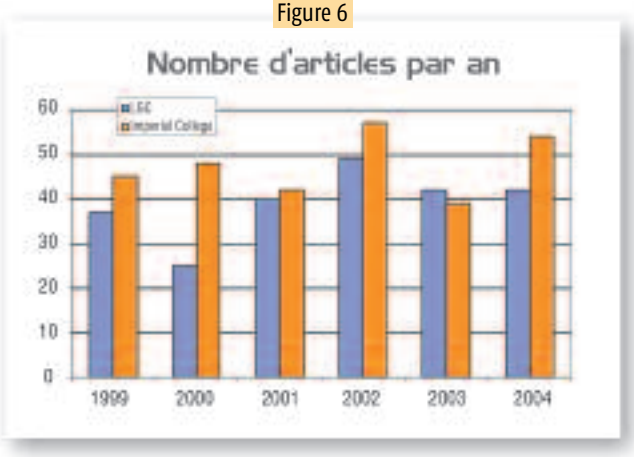
Conclusion.

If the scientific production in LGC is not too far from the one of a well known European similar department (ICL), the visibility of our production is not excellent, and the consistency between our publications and our web site and reports should be improved. The 21 /11 blast has not altered our rate of publication, so far.

Comparaison avec un laboratoire analogue : Le département de Génie Chimique d'Imperial College à Londres

Cette comparaison reste strictement globale, basée sur les articles répertoriés dans Science Direct et publiés par le Département de Génie Chimique de l'Imperial College à Londres, qui avec ses 49 professeurs et professeurs associés, 13 Chercheurs, 11 " visiting " professeurs et 12 Chercheurs sous contrat a donc un total de 85 chercheurs, soit une taille proche de celle du LGC, comparés à ceux obtenus pour le LGC. Cette comparaison (figure 6) confirme que notre laboratoire a une production scientifique de 20% inférieure à celle d'Imperial sur la période considérée.

Figure 6



Conclusion

Si le nombre de publications semble supporter la comparaison face à un autre laboratoire Européen, la visibilité de tous nos articles n'est pas excellente, et la cohérence avec notre affichage thématique devrait être améliorée. Un soin tout particulier doit être apporté au site web, mais aussi à notre politique de publications (choix des mots clés, des titres, des journaux) et à notre rapport d'activité. Le sursaut après le 21 Septembre 2001 a remarquablement comblé, à travers les indicateurs observés ici, les effets de la catastrophe.

On trouve, bien normalement, des disparités dans les rythmes de publication, en fonction de l'avancement dans la carrière et le sujet de recherche. Une réflexion pour aider les collègues qui ne publient pas, et qui souhaiteraient se ré engager dans recherche est en cours.

Au delà de la " cellule " de recherche qui tourne autour de deux permanents, l'organisation du laboratoire en départements de recherche semble cohérent avec les grands domaines dans lesquels nous publions. Les enseignants chercheurs et chercheurs du laboratoire publient beaucoup avec des étudiants, ainsi qu'avec des membres d'autres structures, réparties de manière assez homogène en quatre catégories : Région Toulousaine, France, Etranger et industrie. Nous devons toutefois noter que nos collaborations internationales manquent nettement de continuité sauf vers Cuba et l'Inde, et que seule une petite fraction des contrats de recherche, dans lesquels une relation de partenariat est établie, conduisent à co-publication avec ce partenaire.

One finds obviously discrepancies in the rate of publication as a function of topics and experience of researchers. A discussion with those researchers who would like to catch up with research is in progress.

Beyond the "publishing unit" of 2 permanent members of staff, the laboratory organisation matches quite well the fields in which most of our papers are published. Researchers and faculty publish quite a lot with students and post docs, as well as with other colleagues, evenly scattered in four families: Academic from Toulouse, from France and from Foreign countries, and industrialists.

DÉPARTEMENT
Génie des Interfaces et des Milieux Divisés (GIMD)

DÉPARTEMENT GÉNIE DES INTERFACES ET MILIEUX DIVISÉS (GIMD)

DÉPARTEMENT PROCÉDÉS ELECTROCHIMIQUES (PE)

DÉPARTEMENT PROCÉDÉS ET SYSTÈMES INDUSTRIELS (PSI)

DÉPARTEMENT RÉACTION, MÉLANGE, SÉPARATION (RMS)

DÉPARTEMENT BIOPROCÉDÉS ET SYSTÈMES MICROBIENS (BIOSYM)

Au delà du caractère générique de la plupart des travaux décrits précédemment, le Département GIMD entend également poursuivre, structurer et développer des actions en prise directe avec des secteurs d'application bien identifiés.

Le contrôle à l'échelle locale de phénomènes tels que l'agrégation et la coalescence, les changement de phases en milieux denses, de mouillage- démouillage, de fragmentation ou de consolidation en milieux confinés, reste un des verrous scientifiques importants dans les opérations de transformation de la matière (granulation, broyage, précipitation, émulsification, polymérisation, filtration, fluidisation). Les secteurs les plus concernés sont ceux de la chimie fine, de l'agroalimentaire , de la pharmacie ou bien encore de l'extraction pétrolière et des effluents liquides. Cette orientation qui couvre plusieurs thématiques illustrées dans ce document devrait se renforcer dans l'avenir avec des perspectives directement associées à la conception et au développement de micro ou mini-procédés innovants, en milieu dispersé dense ou en milieu confiné (réseaux connectés, milieux structurés).

Dans le domaine de la santé, le développement de technologies permettant de maîtriser la structure de nanoparticules, éventuellement fonctionnalisées, représente un enjeu majeur pour les industries pharmaceutiques face auquel divers travaux conduits dans le Département peuvent apporter des réponses appropriées (formulation de poudres peu solubles par nanobroyage, cristallisation sphérique en émulsion,..). Des recherches récemment entreprises, sur l'élimination de micropolluants, tant chimiques que biologiques, par des procédés membranaires d'une part et sur les émissions d'aérosols ultrafins d'autre part, seront renforcées eu égard à leur impact en terme de santé humaine.

Les travaux concernant les procédés d'élaboration de matériaux nanostructurés, dont un des objectifs est de produire des nanoobjets aux propriétés exaltées (électrique, mécanique, thermique,..) devraient s'orienter à court terme vers des applications dans le domaine aéronautique, spatial, systèmes embarqués et plus largement dans celui des micro-systèmes. Des problématiques relevant du secteur de l'Energie (piles à combustible par exemple) pourraient également bénéficier des avancées concernant l'élaboration de films polymères composites nanostructurés.

Le domaine de l'agroalimentaire est pour sa part plus historique et concerne majoritairement les procédés de séparation membranaires. En terme de produit, nos travaux, initialement focalisés sur le fractionnement et la valorisation de protéines, laitières en particulier, ou d'hydrolysats, ont progressivement évolué vers la purification de milieux contenant des solutés de petite taille (acides organiques et sels minéraux, sucres).

Enfin, les activités du Département couvrent un large spectre de problématiques, en perpétuelle évolution, dans le domaine de l'eau et des effluents (production d'eau potable, couplage coagulation-filtration, élimination de micropolluants, traitement d'effluents salins,..).

DEPARTMENT
Interface and particle interaction engineering

Though most of the research presented here is generalist in nature, the GIMD Department also aims at continuing, structuring and initiating projects directly related to well defined fields of application.
Control on a local scale of phenomena such as: aggregation and coalescence, phase change in concentrated dispersions, wetting and dewetting, fragmentation or consolidation in compacted media, remains as one of the major scientific hurdles in operations for transforming matter (granulation, grinding, precipitation, emulsification, polymerization, filtration, fluidization). The industrial sectors most concerned are fine chemistry, the food and pharmaceutical industries, as well as petroleum recovery or treatment of liquid effluents. This orientation which covers several of the subject areas illustrated in this document is likely to expand in the future, with objectives directly associated with the design and development of innovative micro- or mini-processes in concentrated or compacted dispersed media (percolating networks, structured media).
In the field of health care, the development of technologies that allow nanoparticles to be structured, even functionalized, represents a major issue for the pharmaceutical industry, for which much of the research undertaken in the Department can provide appropriate answers (formulation of insoluble powders by nano-grinding, spherical crystallization in emulsions, ...). Research recently undertaken concerning the elimination of nano-pollutants, both chemical and biological, by membrane processes on the one hand and concerning emission of ultrafine aerosols on the other hand, will be reinforced in light of its impact in terms of human health.
Research on processes for fabricating nano-structured materials, aimed in particular at the production of nano objects with intensified properties (electrical, mechanical, thermal, ...), should in the near future be oriented towards applications in aeronautics, space technology, on-board systems and all forms of micro systems. Research themes related to Energy (such as fuels cells) could also be enriched by advances in the fabrication of composite nano-structured polymer films.
Our work in the area of food technology has a longer history and is mainly concerned with membrane separation processes. In terms of the end product, our research was initially focused on fractionation and upgrading of proteins (mainly from dairy products) or hydrolyzates and it has gradually shifted towards the purification of media containing small solute molecules (organic acids and inorganic salts or sugars).
Lastly, in the area of water and effluent treatment, the activities of the Department cover a wide range of ever changing research themes (drinking water production, coagulation with filtration, elimination of micro-pollutants, treatment of saline effluents, ...).

DÉPARTEMENT
Procédés Electrochimiques (PE)

Le Département 'Procédés Electrochimiques' (PE) est issu de l'ancien Département 'Procédés Electrochimiques et Matériaux' (PEM). Actuellement, il est composé d'Enseignants-Chercheurs et de doctorants et bénéficie du soutien d'un technicien.

Le bilan des recherches du PE révèle des thématiques diversifiées, qui couvrent un important domaine d'applications. Bien que tous les thèmes menés au sein de ce département aient l'électrochimie et le génie électrochimique comme dénominateur commun, chacune de ces recherches a ses spécificités, ce qui permet de distinguer quatre groupes de travail :

• **Capteurs Electrochimiques et Procédés** ; groupe animé par M.Comtat, dont l'objectif est le développement de nouveaux capteurs et l'adaptation des nouveaux outils analytiques pour le contrôle et le suivi de procédés, notamment en analyse en biologie clinique, agroalimentaire et environnement.

• **Electrochimie et sels fondus** (groupe animé conjointement par P.Taxil et P.Chamelot). La compréhension des phénomènes physicochimiques, couplée à une approche thermodynamique des milieux de sels fondus de natures diverses, constituent les points forts de cette activité qui vise aux développements de procédés électrochimiques innovants.

• **Energétique et Catalyse** (animé par B.Lafage et J.Lozar). Les orientations prises concernent d'une part l'étude approfondie des médiateurs utilisés dans des procédés d'électrosynthèse, et d'autre part une étude fine des propriétés thermodynamiques des matériaux d'insertion du lithium dans les accumulateurs Li-ion.

• **Réacteurs et microréacteurs Electrochimiques** (animé par A.Savall). La conception de nouveaux outils (réacteurs-microréacteurs et matériaux d'électrode) ainsi que la définition et la modélisation de procédés de synthèse/dégradation/détection constituent la base des recherches conduites au sein de ce groupe.

Les projets de recherche de toutes les équipes sont bien identifiés et sont détaillés, plus particulièrement pour chaque groupe de travail, dans la suite.

Une brève synthèse de ces activités à venir, au sein du département 'Procédés Electrochimiques' montre que celui-ci :
• est d'une part fortement impliqué, et d'autre part entend amplifier son champ d'investigation, dans la majorité des thématiques émergeantes (dans la discipline), au sein de la communauté internationale de recherche notamment :
- la conception de nouveaux outils (de taille miniaturisée à l'échelle micrométrique, ou d'état de surface nanostructuré) comme les capteurs ou les microréacteurs, ainsi que l'approche des technologies associées,
- le développement des méthodologies permettant d'aborder des milieux de complexité croissante, ce pour des applications relatives à l'analyse, la caractérisation, la dépollution, et plus généralement pour apporter une solution à l'étape limitant un procédé,

DEPARTEMENT
Electrochemical Engineering

Introduction
The electrochemical engineering department, so called PE, is constituted by 11 permanent position researchers, associate professors and professors, as well as 6 PhD students; it is supported by one technician.

Various types and thematic of researches are carried out within the PE, and are related to a large panel of fields in close connexion with several industrial applications. Even if all these thematic are supported by the electrochemistry and the electrochemical engineering, each research is devoted to a specific field, most often located at the interface between electrochemistry and an other discipline, like physics, biology, organic chemistry, nuclear industry,... By the way researches within DPE can be separated to four axes:

• *Electrochemical Sensors and processess led by M.Comtat. The group's objectives are to develop new sensors and to adapt existing or to conceive new analytical methods and devices in order to control and to manage processes, in various area, notably in analysis, in clinical biology, for foods and environment.*

• *Electrochemistry and molten salts (P.Taxil and P.Chamelot are jointly the group's heads). The understanding of physicochemical phenomena, coupled to a thermodynamical approach of various types of molten salts, constitutes the research driving-forces of this group, which the final goal is to develop innovative electro-chemical processes.*

• *Énergy and Catalysis (leaded by B.Lafage and J.Lozar). Researches directions concern on the one hand the study of catalysts used as 'redox' mediators, to develop processes in electrosynthesis, and on the other hand, to approach thermodynamic properties of the host matrix of lithium, used as electroactive material in Lithium-ion accumulators.*

• *Reactors and microreactors a group coordinated by A.Savall. Research objectives of this group are on the one hand, to conceive new tools like reactors and microreactors, as well as specific electrode materials, and on the other hand, to use these devices in order to define, to develop, and to modelling processes for synthesis/pollution abatement /detection.*

Research projects of all groups are specifically developed bellow.

A synthetic debriefing of the researches projects and prospects of our department allow concluding that the electrochemical engineering department:

• *is strongly introduced in number of the most important thematic and emergent fields of the discipline in the international community, and particularly:*
-the conception of new tools (like sensors or reactors) which size is reduced until the micrometric scale, and their surface contains nano-cristallinities, in order to improve their characteristics (the development of technologies permitting to manufacture these devices, is a point to emphasize);

DÉPARTEMENT PE

- la recherche et la caractérisation physicochimique des nouveaux matériaux (répondant aux exigences accrues de nouveaux générateurs d'énergie) ainsi que l'approche technologique des systèmes associés,

• entend conserver et pérenniser son identité, liée à l'axe fédérateur que constitue l'électrochimie, afin de continuer à mener une activité recherche et assurer une production scientifique qui contribuent significativement au rayonnement du laboratoire.

Equipe Capteurs Electrochimiques et Procédés

M. Comtat (animateur), H. Durliat, P. Gros

Les recherches menées dans l'équipe Capteurs Electrochimiques et Procédés ont pour objectif le développement de méthodes analytiques, afin d'assurer le suivi des procédés de fabrication et de la qualification des produits. Il portent sur la mise au point ou l'adaptation de méthodes électrochimiques d'analyse en dermocosmétique, en biologie cutanée et en œnologie. Une des problématiques communes est de mieux comprendre le rôle de l'oxygène sur l'évolution de la qualité des produits et le vieillissement des milieux. Les activités de recherche pour les prochaines années se situent principalement dans la continuité des actions déjà engagées. En particulier :

- les objectifs poursuivis dans le cadre des études sur la biologie cutanée, sont de mieux comprendre les mécanismes d'oxydo-réduction, de proposer un dispositif analytique apte à assister le dermatologue au diagnostic et au choix du traitement. Une méthode est actuellement utilisée sur de nombreux volontaires sains pour étudier la réponse de la peau en présence de diverses agressions génératrices d'espèces réactives de l'oxygène (en particulier les rayons UV) et la modulation de cette réponse en présence de topiques antioxydants. La recherche va se poursuivre par un stage post-doctoral d'une année minimum au Centre Européen de Recherche sur la Peau et les Epithéliums de Recouvrement.

- l'activité dermo-cosmétiques consiste à adapter les méthodes électrochimiques d'analyse pour le contrôle de la fabrication des crèmes correspondantes, pour l'aide à l'optimisation de la formulation de ces produits ainsi que pour l'étude de leur évolution sous l'effet de l'oxygène et de la lumière. Les résultats obtenus, mettent en évidence la nécessité d'approfondir cette étude dont la poursuite est matérialisée par une deuxième thèse financée par la Société Pierre Fabre, auprès de laquelle l'équipe est consultante.

- le monde de l'œnologie est à la recherche de méthodes aptes à fournir des indices globaux et quantitatifs qui permettent de juger de l'aptitude d'un vin à recevoir des doses données d'oxygène et de molécules constitutives du bois. Un nouveau contrat avec la Société OENODEV, qui détache un de ses cadres au laboratoire, a pour objectif la proposition de méthodes électrochimiques d'analyse pour identifier et quantifier des composés présents dans les vins, et qui jouent un rôle clé dans l'orientation des propriétés organoleptiques.

-the development of methods permitting on the one hand to have a better understanding of complex electrolytic mixtures for various applications like analysis, detection, pollution abatement, and on the other hand to obtain any tool able to contribute to solve or to remove the limiting phenomenon of electrochemical processes;
-the development and the characterisation of new specific materials, and reactors for energetic applications (nuclear industry and lithium batteries);

• *wish to pursue in the choose research's direction, federated by the electrochemistry, in order to carry out valuables thematic and applications, and to offer a scientific production that contributes to the laboratory development.*

Electrochemical Sensors and processess

M. Comtat (Team's head), H. Durliat, P., Gros

Objectives of researches performed in the "team Electro-chemical Sensors and Process" consist to develop analytical methods, in order to control manufacture processes and to quantify products. Researches consist to conceive and to adapt electrochemical methods for analysis in 'skin-cosmetic', in 'cutaneous biology' and in 'oenology'. One of the common problems of theses studies is to understand the role of the oxygen, on the evolution of the product quality and the ageing of supporting media. Future research's activities mainly consist to pursue current actions. In particular:

• *the goal to reach in the case of studies on the cutaneous biology, consist to understand oxidoreduction's mechanisms, to propose an analytical device able to help the dermatologist for both diagnosis and treatment. A method, checked currently, consist to study the answer of skin to various aggressions generating oxygen reactive species (in particular UV radiations) and the modulation of this answer in the case of the presence of antioxidants. Research will pursue by a one year post-doctoral training, to the Centre Européen de Recherche sur la Peau (Laboratoires Pierre Fabre Dermo-cosmétique).*

• *for dermo-cosmetic researches, the objective consists, first to adapt the electro-chemical methods of analysis, for the control and the manufacture of creams; another objective is to contribute to optimize the formulation of these products, as well as to study their evolution under both oxygen and light effects. Current results, clearly demonstrate the necessity to pursue in this direction, and Pierre Fabre Company (to which the team is consulting) supplies money for a second thesis.*

• *the oenology area need methods to provide any global and quantitative indication, that permit to appreciate the ability of a wine to receive defined proportions of oxygen and of wood's constituting molecules. The goal of a new collaboration with the Society OENODEV, is to propose electroanalytical methods to identify and to quantify molecules presents in wine, which crucial role for the evolution of organoleptic properties.*

Equipe Electrochimie en Milieux Sels Fondus

P. Chamelot et P. Taxil (animateurs), L. Massot

Les perspectives de recherches pour les cinq prochaines années se situent en grande partie dans la continuité des actions déjà engagées sur les thèmes suivants :

Dans le cadre du nucléaire :

- Procédés électrochimiques en sels fondus pour le retraitement des combustibles nucléaires. Cette activité se situe dans le cadre de la loi Bataille de 1991 et participe à la recherche au niveau national sur la gestion des déchets radioactifs. L'objectif est d'évaluer les potentialités des procédés d'électrolyse en sels fondus pour le retraitement des combustibles nucléaires de nouvelles générations plus inertes en comparaison avec le procédé industriel hydrométallurgique PUREX.

- Physico-chimie des réacteurs nucléaires à sels fondus (thorium) pour la production d'électricité ou la transmutation (élimination des radionucléides à durée de vie longues types actinides mineurs). Cette étude s'inscrit dans une collaboration internationale (10 pays engagés) GENERATION IV (Technology-Roadmap http://gif.inel.gov/roadmap/) dans lequel le réacteur à sels fondus (RSF) est l'une des six options retenues pour le nucléaire du futur. Le développement de ce type de réacteur nécessite l'étude physico-chimique des différents éléments qui interviendront dans le réacteur pour une optimisation de son fonctionnement.

Traitement de surface et résistance à la corrosion en milieu haute température :

- Etudes de corrosion des matériaux des réacteurs à sels fondus. L'objectif est de mieux appréhender les phénomènes de corrosion en milieux de sels fondus des différents matériaux utilisés dans l'objectif de proposer des solutions notamment par traitement de surface par électrolyse en sels fondus.

- Préparation de revêtement de surface pour la protection contre la corrosion des milieux de sels fondus (application au nucléaire) ou la corrosion sèche à haute température (applications aéronautiques).

- Participation au développement d'une anode inerte en milieu de fluorures fondus par le procédé Hall-Héroult de production de l'aluminium. L'objectif est de mettre en œuvre un matériau d'électrode permettant le dégagement d'oxygène (en remplacement de la production de dioxyde de carbone).

Electrochemistry in Molten Salts

P. Chamelot and P. Taxil (coordinators), L. Massot

Prospects for research for the five next years are mainly in the continuity of the actions already engaged on the following topics:

Nuclear framework:

- *Electrochemical processes in molten salts for spent nuclear fuel reprocessing. This activity concerns the "Bataille" law of 1991 and takes part in national level research on the management of the radioactive waste. The objective is to evaluate the potentialities of the electrochemical processes in molten salts for the reprocessing of new generations of spent nuclear fuels more inert in comparison with the industrial hydrometallurgic process PUREX.*

- *Physicochemistry of nuclear reactors in molten salts (thorium) for the production of electricity or the transmutation (elimination of the long life radionuclides as minor actinides). This study fits in one international collaboration (10 countries) GENERATION IV (Technology-Roadmap HTTP://gif.inel.gov/roadmap/) in which the molten salts reactor (MSR) is one of the six options chosen for future nuclear power. The development of this kind of reactor requires the physicochemical study of the various elements which will intervene in the reactor for an optimization of its operation.*

Surface treatment and corrosion resistance in high temperature media:

- *Corrosion of materials studies of the molten salts reactor vessels. The objective is a better apprehension of the phenomena of corrosion in molten salts media of various materials used in the objective to propose solutions in particular surface treatment by molten salt electrolysis.*

- *Preparation of surface coatings for protection against the corrosion of the molten salts media (nuclear applications) or high temperature dry corrosion (aeronautical applications).*

- *Participation to the development of an inert anode in the Hall-Héroult process for aluminium production. The objective is to obtain electrode materials allowing the oxygen evolution (in replacement of carbon dioxide production).*

DÉPARTEMENT PE

Equipe Energétique et Catalyse

B. Lafage, J. Lozar

Activité catalytique de l'acétate de cobalt dans l'oxydation des hydrocarbures
La résolution du mécanisme de réduction de l'acétate de cobalt(III) dans l'acide acétique ouvre la voie aux études suivantes:
- étude de la réduction du cobalt(III) en milieu anhydre et/ou en l'absence de sel de fond
- modélisation de la cinétique globale de l'autoxydation du p-t-butyltoluène. En particulier, la maîtrise de l'analyse quantitative des 2 complexes du cobalt(III) mis en évidence pourrait aboutir à la détermination d'une loi expérimentale formelle pour la cinétique chimique d'autoxydation des alkylaromatiques
- recherche des conditions optimales de fabrication électrochimique des 2 complexes de l'acétate de cobalt(III) et étude de leur activité catalytique.
L'aboutissement de ce programme pourrait permettre de préciser les conditions opératoires pour une oxydation douce et sélective d'un certain nombre d'hydrocarbures d'intérêt pratique. Ces essais prendraient tout leur sens dans le cadre d'une collaboration industrielle qui reste à trouver.

Accumulateurs lithium-ion
Les accumulateurs Li-ion sont actuellement les générateurs secondaires les plus performants sur le marché (téléphonie mobile, micro ordinateurs...). En cas d'utilisation abusive (surcharge prolongée, exposition à des températures élevées) le matériau d'insertion du lithium peut être le siège d'une réaction d'emballement thermique entraînant la destruction de l'accumulateur. La compréhension de ce phénomène repose sur une étude fine des propriétés thermodynamiques de ces matériaux ; elle peut aboutir à une amélioration des performances en termes de stabilité du matériau d'insertion, mais également de capacité et de densité énergétique de l'accumulateur.

Equipe Réacteurs et microréacteurs Electrochimiques

A. Savall (animateur), A-M. Romulus, K. Serrano, T. Tzedakis

La finalité des recherches menées et à poursuivre pour les 2 à 4 ans à venir, est d'une part la Conception, l'Elaboration et l'Optimisation de nouveaux réacteurs et microréacteurs électrochimiques -µRE- à très haute surface spécifique (soit de microréacteurs nanostructurés, S_{sp}>500 cm^{-1}), et d'autre part, l'étude de leurs potentialités en électrosynthèse organique et enzymatique, ainsi que dans la dépollution ou encore la détection de la pollution.

Energy and Catalysis

B. Lafage, J., Lozar

Understanding of the mechanism of reduction of the CoIII in the acetic acid, allow to pursue various studies indicated bellow:
- *a better knowledge of this reduction in anhydrous media and/or in the absence of an supporting electrolyte is necessary;*
- *spectroscopic measurements allow to evidence two acid/base forms for the CoIII complex, so an analytical methods has to be defined to detect both forms, in order to perform kinetic measurements. Comparison with a theoretical approach of the overall process of the alkylaromatique's autoxydation reaction, would permit to reach the formal kinetic law for the auto-oxidation of the p butyltoluene.*
- *the experimental optimization of electrochemical synthesis of both forms of the CoIII acetate complex, and the quantification of their catalytic activity, for a soft and selective oxidation of a number of valuables hydrocarbons.*

An industrial collaboration has to be defined in order to validate in productin scale these results.

Accumulators lithium-ion

Li-ion accumulators are currently the most effective secondary generators used for various applications like mobile telephony, microphone computers,.... In some case, where generator is used under drastic conditions (prolonged overcharge, operating at elevated temperatures) the lithium host matrix can induce exothermic reactions ; these processes provide important heat quantities able to led to the accumulator's destruction. The understanding of this phenomenon requires to finely study the thermodynamic properties of these materials; moreover fine knowledge of the insertion process would permit to improve performances in terms of stability of the insertion matrix, but also of capacity and energy power of the accumulator.

Electrochemical Reactors and microreactors

A. Savall (coordinator), A.-M. Romulus, K. Serrano, T. Tzedakis

Current researches and researches to carry out for coming period from 2 to 4 years consists to conceive, to elaborate and to optimise new reactors, as well as new nanostructured microreactors at very high specific area (S_{sp}>500 cm^{-1}), in order to perform organique and enzymatique electrosyntheses, as well as for pollution detection or abatement.

Les études menées actuellement portent sur trois applications des microréacteurs électrochimiques, qui seront poursuivies et amplifiées :

- application à la synthèse enzymatique électroassistée. Les résultats des études actuelles (µRE permettant la régénération du cofacteur nicotinamide dinucléotide forme réduite par la flavine adénine dinucléotide, optimisé, haute efficacité, production : 10 mol/h/m^2), seront d'une part valorisés et d'autre part extrapolés dans le cas d'un cofacteur équivalent le cofacteur NAD(P)+/NAD(P)H. Les deux couples des cofacteurs interviennent dans plus de 60% des réactions de synthèse de produits chiraux à intérêt médical.

- application à la fluoration anodique. Actuellement au stade de démarrage au laboratoire, l 'étude est menée en collaboration avec l'équipe de M.Baltas LSPCMIB UMR 5068 UPS. Il s'agit de la fluoration des fonctions quasi-impossibles à réaliser par voie chimique (en alpha d'un hétéro-atome p.ex.) en vue d'obtenir des molécules médicalement intéressantes.

- La troisième application concerne l'apport des **Microréacteurs électrochimiques à anode diamantée** sur l'étude des mécanismes de dégradation d'effluents organiques et en particulier la mise en évidence au niveau locale (quelques µm de l'interface) de l'apparition des radicaux OH° et de leur implication dans la dégradation des d'effluents organiques. constituera un point clé à élucider. L'objectif général de cette recherche étant de proposer de nouveaux outils permettant d'acquérir des données physicochimiques sur la dépollution électrochimique, et d'autre part de contribuer à la mise au point d'un dispositif type capteur, permettant la détermination électrochimique de la demande chimique en oxygène. L'objectif est de trouver les conditions opératoires pour relier la valeur de cet important paramètre environnemental à la valeur d'une grandeur de nature électrochimique (courant d'électrolyse ou charge électrique). L'électrode de diamant présente de telles potentialités.

Current studies leaded concern mainly three applications which will be pursued and amplified:

- first application treat of electroenzymatique syntheses. *Results of current study (µRE allowing the quantitative regeneration of the cofacteur NADH with high overal production rate: 10 mol/h/m^2), will be valorized and extrapolated for the regeneration of another pyridinique cofacteur (NAD(P)H). Let us note that both NADH and NADPH cofactors intervene in more than 60% of syntheses of chiral molecules for medical use;*

- anodique fluorination *is another studied reaction (in collaboration with LSPCMIB UMR 5068 UPS). The goal to reach is to fluorinate groups in alpha position of an heteroatom, an reaction impossible to achieve by chemical way (in alpha position of an hetero-atom.) in view to get some medically interesting molecules.*

- the third application concerns contribution of the ***electrochemical microreactors which anode is in boron doped diamond made****, for the study and the understanding of mechanism of degradation of organique wastes; on the other hand, these devices are particularly useful to demonstrate the formation of hydroxyl radicals in local scale (some µm to the interface) as well as their action in the deterioration of the organic wastes. The final goals to achieve by these researches are, first to propose new tools permitting to get physicochemical data on the electrochemical way to decrease pollution; another objective is to help to conceive a new type of an electro-chemical sensor, in order to access to the chemical demand in oxygen; it is necessary to define precisely the operating conditions which permit to correlate the value of the amount of charge passed (or the currant) to the chemical demand in oxygen; The boron doped diamond electrode presents such potentialities.*

DEPARTEMENT
Procédés et Systèmes Industriels (PSI)

Les thèmes suivants émergent comme perspectives majeures dans le département :

Le thème **acquisition et traitement de données expérimentales** se poursuit au travers d'une part de la thèse de H. Akin (bourse du gouvernement ivoirien, 2004-2007) *sur l'étude de l'impact du pH sur le déroulement des fermentations alcooliques* et d'autre part de la modélisation stoechio – cinétique de synthèses (contrat ARKEMA, 2004-2005).

Intensification des procédés : ce thème sera poursuivi suivant les trois axes : **distillation réactive, échangeur compact et piles à combustible.** Ainsi la méthodologie de conception des procédés de distillation réactive sera étendue à des systèmes liquide – liquide – vapeur (thèse de J. Bonet, 2003-2006) et à des systèmes réactifs en phase liquide et/ou vapeur (thèse de B. Belaissaoui 2002-2005). Une conception tridimensionnelle des échangeurs à plaques brasées en configuration complexe sera étudiée en partenariat avec la société Nordon Cryogénie dans le cadre de la thèse de F. Picard (2004-2007). Ces échangeurs très haute performance constituent sans nul doute des exemples phares de l'intensification des procédés et un couplage échange thermique - réaction multiphasique pourrait être envisagé. En amont des piles à combustible, la production d'hydrogène constitue un axe de recherche en plein essor (thèse de F. Nozahic, bourse ADEME-CEA, 2004–2007). L'objectif est de modéliser les unités de traitement des gaz issus de la pyrolyse de la biomasse afin de mieux appréhender leur fonctionnement et déterminer les conditions opératoires de production d'un gaz de synthèse exempt de goudrons.

Conception intégrée produit-procédés : à court et à moyen terme, la conception intégrée de produits et de procédés est une action transversale en Génie des Procédés qui s'insère dans une approche multi-échelle procédé - opération unitaire - système matériel - molécule ; cette dernière, où les phénomènes découlant d'interactions énergétiques sont prépondérants, pouvant maintenant être appréhendée par la simulation moléculaire. De pourvoyeur de données physico-chimiques, cette discipline *a priori* très théorique va devenir un pourvoyeur de connaissances.

Son incursion en Génie des Procédés est justifiée par la maturité des outils de simulation moléculaire qui nécessitent une grande puissance de calcul scientifique et par la capacité du Génie des Procédés à cibler des thèmes d'application nécessitant ces outils :

En 2005, démarrera ainsi une action de recherche en thermodynamique moléculaire où les outils de simulation moléculaire permettront de valider directement les modèles thermodynamiques macroscopiques basés sur la théorie SAFT. Les équations de type SAFT ont l'avantage de bien décrire le comportement des molécules complexes : macromolécules, systèmes polaires, bio-molécules.
L'étude de l'impact des propriétés des constituants chimiques sur leur granulation et enrobage s'oriente vers la simulation moléculaire à deux échelles complémentaires, atomique et particulaire. Il s'agit d'utiliser encore des méthodes de Monte Carlo pour étudier la stabilité et la structure énergétiquement favorable des agglomérats.

DEPARTMENT
Process and Systems Engineering

The following topics will emerge as major challenges in the department :

Data analysis

Two research ways will still be investigated, i.e., on the one hand, the impact study of pH on alcoholic fermentations (H. Akin, PhD, 2004-2007), and on the other hand, stoechio-kinetic synthesis modelling (Arkema, 2004-2005).

Process intensification: *a major challenge that will be addressed is process intensification around three topics:* ***reactive distillation, compact exchangers and fuel cells****. The design methodology for batch distillation will thus be extended to liquid-liquid-vapour reactive systems (B. Belaissaoui, PhD, 2002-2005). A 3-D design of brazed plate-fin heat exchangers with a complex configuration will be studied with the industrial partnership of Nordon Cryogénie (F. Picard, PhD, 2004-2007). These high-performing exchangers are obviously key examples of process intensification and the interaction thermal transfer-multiphase reaction will be studied.*
Upstream to fuel cells, hydrogen production constitutes another major challenge (F. Nozahic, 2004-2007). The objective is to model gas treatment units from biomass pyrolysis in order to better understand their behaviour and to determine the operating conditions of a synthesized gas without tar.

Process and Product Design: *at short and mid-terms, product and process design is a multidisciplinary action in chemical engineering that is part and parcel of a multi-scale approach, i.e. process-unit operation-material system–molecule. At the molecular level, phenomena involving energetic interactions are limiting and can be understood by molecular simulation: this theoretical approach used for physical-chemical data prediction will thus provide better knowledge of the underlying phenomena.*
The insertion of such techniques in chemical engineering is justified by the maturity of molecular simulation tools that are greedy in computational resources and by chemical engineering problems that require their use.
A research work will thus be carried out on molecular thermodynamics to directly validate macroscopic thermodynamical models based on SAFT theory: SADT equations are well-adapted to model the behaviour of complex molecules (macromolecules, polar systems, bio-molecules).

The impact of chemical species properties on granulation and coating will be investigated via molecular simulation at both atomic and particle complementary scales. For this purpose, Monte-Carlo methods will be once more used to study the stability and the most energetically favourable structure of the clusters. Initially focused on dry granulation this work will include at medium term the solvent effect to have a better knowledge of wet granulation. Some experimental validations will be performed in the GIMD department.

Focalisé dans le cadre de la thèse de M. Benali (2003-2006) sur la granulation en voie sèche, ce travail inclura à moyen terme l'effet du solvant pour appréhender la granulation en voie humide. Des validations expérimentales seront effectuées au sein du département Génie des Interfaces et de Milieux Divisés.

La substitution de substances aromatiques (thèse de M. Korichi, 2004-2007) va permettre de développer et d'assembler des outils logiciels d'horizons divers pour résoudre un problème qui est compliqué du fait du caractère relatif et qualitatif des propriétés odorantes et de leur structure chimique complexe (un simple changement d'angle de liaison chimique peut altérer l'odeur). La conception de produits satisfaisant des propriétés cibles définies *a priori* utilisera des concepts orientés objets et définira une représentation ouverte des molécules compatible à toutes les échelles : de la formule brute aux langages CML (Chemical Modular Language) et ThermoML (Thermodynamic Properties Modular Language).

Enfin, les nouveaux procédés de distillation sont une parfaite illustration de l'imbrication des étapes conception – synthèse – simulation – conduite et du terme " conception intégrée ". Leur étude se poursuit avec des collaborations internationales : thèse de V. Varga, 2004-2007 en co-tutelle avec BUTE, Hongrie suite à un PAI BALATON (2002-2004) et une bourse du gouvernement français : *procédé de distillation extractive hétérogène* ; et post-doctorat dans le cadre du programme ALFA II avec un étudiant cubain.

Dès à présent, les travaux de standardisation des outils mais aussi des interfaces permettent de répondre aux attentes internes au laboratoire mais aussi externes pour développer des briques réutilisables et donc pérennes et évolutives. Les préoccupations de cet axe sont présentes dans tous nos travaux.
Une étape supplémentaire est envisagée avec l'utilisation d'agents logiciels. La première illustration en sera la thèse sur la thermodynamique moléculaire qui démarre en 2005 et formalisera la collaboration entre plusieurs chercheurs du département.

Stratégies d'optimisation mono- et multicritère

Dans la continuité des travaux initiés dans le domaine de l'optimisation mixte, une récente orientation de recherche a trait à l'utilisation de l'environnement GAMS et à l'évaluation des performances de méthodes d'optimisation mixte pour traiter des problèmes de grande taille, tels que ceux inhérents à la conception de procédés, ou à l'identification de modèles de procédés.

Au plan fondamental, il importe de combler des lacunes en ce qui concerne les procédures d'optimisation en présence de non convexités, la conception et le traitement automatique de superstructures, l'introduction de méthodes pour simuler et optimiser en présence d'incertitudes : la théorie des ensembles flous offre un cadre conceptuel très intéressant pour traiter les problèmes à données incertaines.

Même si la rentabilité reste le point dominant au niveau de la conception ou de l'exploitation des procédés chimiques, un autre enjeu concerne la conception de procédés durables dans le respect de normes environne-

Flavour substitution (M. Korichi, PhD, 2004-2007) will allow to develop and integrate various software tools to solve the complicated associated problem due to both the relative and qualitative odorous properties as well as to their complex chemical structure (a simple change in a chemical bound angle can modify the flavour). Product design that satisfies a set of target properties defined a priori will use object-oriented concepts and define an open representation of molecules that will be compatible at all scales.

Finally, the new distillation processes constitute an ideal example of the integrated steps, i.e., design-synthesis-simulation-control towards an integrated design. Their study will be performed with international partnership.

A perspective will be devoted to a standardization effort and interface implementation to develop reusable and evolutive software pieces.
An additional step will be the use of software agents : an illustration will be given in a work focused on molecular thermodynamics that will involved several researchers of the department.

Mono and Multicriteria optimization strategies

Another recent trend in mixed optimization will be to use the GAMS package and to evaluate the performance of mixed methods to treat large-size problems, as those involves in process design or model identification.

From a theoretical point of view, to make progress in rigorous optimization will require a number of new supporting methods and tools that currently are not available: an important capability will be optimization procedures with non-convexities, the design and automatic treatment of superstructures as well as efficient methods for NP-hard problems. There is also need for methods for simulating and optimizing under uncertainty: the fuzzy set theory offers a very interesting framework and will be investigated more closely.

Although process economics is a key point in process design or operation, another major challenge that will remain is the design of sustainable and environmentally benign processes. For this purpose, the design and operation of a chemical process implies a multiobjective formulation: a process must be ideally profitable, safe, clean, reliable, flexible, well-controlled ... Following some previous works (S. Dedieu, PhD, 2001, A. Dietz, 2004), a research perspective concerns the development of general strategies for multicriteria optimization for design and operation of chemical processes.

mentales. La conception ou la conduite d'un procédé apparaît alors comme un problème d'optimisation multicritère : idéalement, un procédé se doit d'être rentable, sûr, propre, fiable, flexible, contrôlable,.... Dans la poursuite des travaux de S. Dedieu (2001) et A. Dietz (2004), une perspective de recherche concerne l'élaboration et le développement de stratégies générales d'optimisation multicritère pour la conception et la conduite des procédés de l'industrie chimique.

Procédés discontinus

En ce qui concerne les ateliers discontinus, les perspectives sont multiples : intensifier les liaisons entre une opération unitaire et le reste de l'atelier (ordonnancement), développer des méthodes de conception d'ateliers discontinus qui prennent en compte les caractères intrinsèques des opérations qui sont mises en œuvre, en particulier les notions de flexibilité et d'incertitude.

Une perspective directe des travaux consiste ainsi à développer une méthodologie de résolution intégrée des problèmes de conception et d'exploitation d'ateliers discontinus en génie des procédés, prenant en compte l'aspect multicritère (coût, environnement, énergie) et le traitement de diverses options pour minimiser les rejets. Le concept d'analyse de cycle de vie sera également pris en compte plus largement afin d'intégrer les phases principales traversées par un produit, de l'étape de développement du procédé vers la conception, la production, la distribution et le traitement des rejets.

Ces différents aspects impliquent une meilleure coordination des modèles de simulation afin de hiérarchiser leur utilisation au sein des procédures. C'est en ce sens que la participation au projet GridMip (BQR INPT) est envisagée afin d'accéder à des ressources de calcul plus importantes et de faire coopérer différents simulateurs.

Conception, Innovation et Gestion des connaissances

Suite aux travaux engagés, le développement de la méthodologie de résolution des problèmes innovants basé sur la rhéorie TRIZ sera bien sûr poursuivi au travers de la thèse de Guillermo Cortes Robles et comme support thématique à l'HDR de Stéphane Negny (soutenance prévue à l'horizon 2008-2009).
La montée en puissance de la méthodologie proposée basée sur la théorie théorie TRIZ et de ses applications en génie.des procédés au travers d'une collaboration effective avec Innovène-BP Lavéra et Lapperenta University of Technology (LUT, Prof Kraswlaski) sera amplifiée.

Le développement de la méthodologie et de la synergie TRIZ-RPC comme outil de gestion de connaissances et de résolution des problèmes sera affinée notamment par la mise en place d'aspects logiciels plus poussé relatif aux méthodologies de résolution des problèmes inventifs et à la synergie TRIZ-RPC en vue d'en faire des outils d'aide à la décision et des outils de travaux collaboratifs en liaison avec l'IRIT (Pascale Zaraté).
Le sous-thème " gestion des projets innovants " sera bien sur complété par une vision Analyse des risques et retour d'expériences (travaux d'Alain Hait, Philippe Duquenne et Sophie Bougaret).

Batch processes

For batch processes, the perspectives include several aspects: embedding unit operation models into global batch plant models (scheduling), developing design methodologies that take into account the typical features of the involved batch process, i.e. flexibility and uncertainty.

A direct perspective will consist in developing an integrated design methodology for batch plants under a multicriteria assessment (cost, environment, energy) and the treatment of several alternatives for pollution management. The concept of life-cycle modelling will also be expanded as a way of integrating all the major phases that a product goes through, from process development to design, manufacturing, distribution and disposal.

All these elements imply a tighter integration of simulation models so that their use can be organized hierarchically in procedures. This explains our contribution in the so-called GridMid project in order to have a better access to more important computational resources and to make different simulators cooperate.

Design, Knowledge Management and Innovation

In the framework of the development of the Triz methodology aiming to support the innovative problems solving the PhD thesis developed by Guillermo Cortes Robles will be pursued and will be one thematically support of the HDR that will be defended by Stéphane Negny (2008-2009).
The application of this methodology in the Process Engineering domain will be reinforced by a strong relationship with Innovène-BP situated at Lavéra and University of Technology (LUT, Prof Kraswlaski) situated at Lapperenta (Finland).

This methodology Triz used with a RPC tool will be reinforced for designing Decision Support Systems and Computer Supported Collaborative Work (CSCW) (collaboration with the IRIT laboratory : Pascale Zaraté).

The subject : "Innovative Projects Management" will be completed thanks to a Risks Management study and Return of Experiments (studies of Alain Hait, Philippe Duquenne and Sophie Bougaret).

Decisional Approaches, Processes and Industrial Systems Organisation

This subject will be reinforced thanks to a larger perspective linked to the Supply Chain Management. It will be linked to several relationships with l'EPM, l'EMAC

Approches Décisionnelles et organisation des procédés et systèmes industriels

Cet axe sera bien sûr renforcé avec une vision plus large étendue au management de la chaîne logistique intégrée. Il se verra renforcé par une collaboration avec l'EPM, EMAC (Lionel Dupont) pour les aspects Recherche opérationnelle et le groupe MOGISA (Dr LOPEZ) du LAAS-CNRS.
Une action de recherches en liaison avec SFERE (2005-2010) est amorcée dès cette année avec le Master de recherches (MR2 SAID) de Rameez Khalid, étudiant pakistanais puis la poursuite en thèse (financement obtenu pour 5 ans). Cette thèse devrait bénéficier de la synergie (fin de thèse d' Eli Kouassi HILAIRE) et de la mise en place de la plate-forme Génie industriel.

Des travaux seront également poursuivis et menés après le passage de l'HDR de Pascale Zaraté avec l'IRIT en vue de développer des outils d'aide à la décision, des outils collaboratifs et des outils d'intégration. Ceci se fera d'ailleurs en partenariat avec le groupe Optimisation du PSI (Prof C. AZZARO).
L'arrivée de Jean-Pierre Belaud (MCF) dans le groupe devrait d'ailleurs permettre la mise en place de l' ERP Movex d'Intentia ainsi que la mise en place avec cet intégrateur ERP d'une politique de partenariat.
Dans le sous-thème Systèmes Dynamiques hybrides, la volonté est de poursuivre l'enrichissement de la plate-forme orienté-objet ProDhys avec la mise en place d'outils d'aide à la modélisation et à la description des scénarios au travers de la thèse MESR de Florian Fabre (2005-2008, encadrement : Pascale Zaraté, Gilles Hetreux) par la réflexion sur la mise en place d'une interface Homme-machine intelligente et des travaux de Nelly Olivier qui s'orientent plus sur des aspects Diagnostic, supervision avec pour vision plus lointaine la mise en place au sein de ProDhys des aspects ordonnancement réactif pour augmenter en gestion de production le potentiel de la plateforme. Notons égalent des aspects Génie logiciel au travers de la thèse de Karim Alloula (2004-2007), ainsi qu'une volonté de standardisation au format CAPE-OPEN des composants logiciels.
Les aspects Optimisation des systèmes dynamiques et dynamiques hybrides seront eux également développés.avec des applications en gestion de production, en études de scénarios (fiabilisation et sécurisation des scénarios de démarrage, minimisation des encours, études pour une meilleure réactivité, incidences (bienfaits et défauts) de l'intensification des procédés et des processus en contrôle optimal et en modélisation des processus d'entreprise. Une potentialité intéressante d'applications des systèmes dynamiques hybrides sera investigé au sein du projet ITER (Cadarache, C. Latgé) et au sein du pôle de compétences AESE (notamment pour des applications en aéronautique).

Procédés et énergie

Dans les stratégies d'optimisation élaborées dans ces travaux, l'aspect énergétique intervient comme critère incontournable dans le développement de méthodologies.

Or, l'importance grandissante que revêt le domaine de l'énergie dans les années à venir dans un contexte de développement durable, associée à la diversité des filières et des vecteurs énergétiques conduit à nous orienter

(Lionel Dupont) for the Operational Research aspects and the team MOGISA (Pierre Lopez) from the LAAS-CNRS.
A study begins this year linked to the MR2 SAID of Rameez Khalid, Pakistanis student and funded by SFERE (2005-2010). This PhD study will be based on those developed by Eli Kouassi Hilaire and the development of an Industrial Engineering framework.

Other works would be conducted, after the HDR defence of Pascale Zaraté linked with the IRIT laboratory team CSC, for designing Decision Support Systems, Collaborative Tools and Integration tools. This topic will be developed with a strong collaboration with the Optimisation Group (Prof. C. Azzaro).

Jean Pierre Belaud (MCF) arriving in the team will certainly allow us to develop the ERP Movex Intentia and an agreement licence with Movex Intentia.

For the topic Dynamical Hybrid Systems, the aim is to enrich the framework ProDhys by developing a Modelling Support System by describing Case Studies in the Florian Fabre's PhD work conducted by Pascale Zaraté and Gilles Hétreux funded by MESR (2005-2008). This work will be possible by the development and design of an Intelligent Man/Machine Interface.
In the same topic, we must notice that the diagnostic and Supervision axes have been taken into account in the PhD thesis developed by Nelly Olivier. These studies aim to integrate in the ProDhys framework a reactive scheduling function and more generally a Production Management module.
A software engineering approach is developed in this topic through the Karim Alloula's PhD thesis (2004-2007) and a strong wiling to standardize the system to the CAPE-OPEN format.

The subjects related to the Optimisation of Dynamical Systems and Dynamical Hybrid Systems will be developed with applications in the Production Management domain thanks to Case studies (studies for better reactivity, processes intensification). A good opportunity to apply this subject would be the ITER project (Cadarache, C. Latgé) and would be studied. Another opportunity would be the competences axe AESE (for aeronautical applications) and would be studied.

Processes and energy

In the optimization procedures developed in our previous works, the energy aspect is of major importance
Within sustainability, energy will play a major role in the future with various pathways and energy vectors. In that context, it seems that the systems view

Département PSI

vers ce domaine. L'approche systémique des activités traditionnelles du département semble essentielle pour comprendre et modéliser les interactions complexes entre l'industrie, la société et les préoccupations environnementales. Plusieurs voies sont à l'étude :
- Etude de la production d'hydrogène à partir de la pyrolyse de la biomasse (Thèse de F. Nozahic, 2004-2007)
- Détermination de stratégies de conception optimales de transport de gaz (Thèse de F. Tabkhi depuis 2004)
- Développement de méthodes d'optimisation multiobjectif pour des systèmes de conversion d'énergie et de co-génération des réacteurs de 4ème génération (en collaboration avec le CEA de Cadarache). Cette thématique implique ainsi la recherche optimale l'ordonnancement de stratégies optimales du fonctionnement du couple réacteur nucléaire-procédé dans un horizon de temps déterminé et intègre des préoccupations sociétales, de contraintes de sûreté et évidemment tous les enjeux économiques de rentabilité.

adopted by PSE activities is essential for understanding and modelling the complex interactions between industry, society and environmental assessment.
Several works are already under investigation or constitute some future challenges:
- Hydrogen production from biomass pyrolysis (F. Nozahic, 2004-2007)
- Research in safety on the mitigation of the Hydrogen risks in nuclear industry (project ITER...)
- Determination of optimal strategies for gas supply networks (F. Tabkhi, PhD, since 2004)
- Development of multiobjective methodologies for energy conversion system and co-generation nuclear reactor (4th generation) with integration of planning and reactive scheduling. This application will address several research topics in reactive scheduling and optimization: it will involve the optimal search for the operation the combined nuclear reactor-process in a predetermined horizon time and will consider societal concern and safe constraints as well as economic stakes.

DÉPARTEMENT
Réaction Mélange Séparation (RMS)

Pour la période à venir, les activités liées aux bioprocédés quittent le département RMS pour se regrouper dans le nouveau département 'BioSyM'.

Les travaux développés dans le département RMS s'adressent essentiellement à des milieux complexes, en rapport direct avec des problèmes industriels. Les études entreprises visent à améliorer les procédés en incluant généralement une phase de modélisation. Le choix de l'échelle d'appréhension des phénomènes varie selon les besoins et peut aller d'une approche très locale amenant à une compréhension fine des phénomènes à une représentation macroscopique pour une application de conduite du procédé. Ainsi, en ce qui concerne les études menées autour des réacteurs agités, ceci se traduit par des efforts du point de vue de l'analyse locale des phénomènes, avec le développement de nouveaux outils métrologiques de traçage (par exemple le traçage individuel de bulles de gaz) qui doivent permettre d'affiner les modèles de prédiction du comportement des réacteurs, et de mieux comprendre les phénomènes transitoires.
Les efforts dans le domaine de la modélisation restent donc une priorité du département avec le souci de la confrontation permanente modèle – expérience. Les travaux visant à la conception de dispositifs expérimentaux spécifiques et à la détermination de conditions opératoires pertinentes (stratégie expérimentale) pour atteindre les grandeurs caractéristiques seront poursuivis et étendus aux différents domaines abordés.

Afin d'améliorer la qualité et la pertinence des mesures expérimentales, nous allons poursuivre et développer les efforts entrepris pour caractériser les milieux étudiés, notamment en ce qui concerne les milieux polyphasiques (détermination de grandeurs moyennes mais aussi mesures locales sur des phases gazeuse et liquide et en écoulement tri-phasique gaz-liquide-particules) et les problèmes de transferts entre phases.
Le développement et la mise en place de méthodes de mesures en-ligne constitueront un axe important et nécessaire pour aller plus loin dans le suivi et le contrôle. Cela nécessitera donc un effort important d'équipement en métrologie et en investissement humain pour maîtriser ces techniques. En particulier, le développement des activités liées à la mise en œuvre de réactions en phase liquide ou gazeuse demande une meilleure maîtrise des évolutions des concentrations des différentes espèces chimiques. L'utilisation d'outils type FTIR ou Raman permettrait de supprimer certains verrous actuels liés à la mise en œuvre de méthodes par prélèvement. Cet effort métrologique pourra être complété par des approches numériques dans l'objectif de réaliser des capteurs logiciels permettant d'obtenir une grandeur non mesurable physiquement grâce à la mesure d'autres paramètres et l'utilisation de modèles.

Les problématiques liées à l'environnement jouent désormais un rôle important dans les travaux du département et sont appelées à se développer.

- Il s'agit d'une part des activités liées à l'utilisation de fluides supercritiques qui conduisent au développement de procédés intrinsèquement propres. Le fluide supercritique peut être utilisé comme solvant mais aussi comme réactif.

DEPARTMENT
Reaction Mixing Separation

Perspectives

Over the next four years, the research activities linked to bioprocesses will be gathered into a new department called BioSyM and will therefore no longer be part of RMS.

The studies carried out in the RMS department are concerned mainly with complex media and are directly linked to industrial problems. The primary aim is to improve process performance and to do this, a modelling step is generally included. The type of modelling approach is chosen in function of the problem concerned. It can vary from a very local approach, leading to the precise understanding of the phenomena occurring, to a macroscopic representation in view of process control. For studies concerning stirred tanks, new experimental techniques are required (enabling for example, the individual tracking of gas bubbles) in order to develop models that describe the physical phenomena a local scale. This should lead to improved predictive models describing the behaviour of multiphase reactors, and a better understanding of the transitory phenomena.
The improvement of modelling is an important priority of the department and will be complemented with experimental validation. Works aiming to design specific experimental devices and to determine the operating conditions that enable bette estimation of the model parameters will be developed and expanded to the different fields of interest.

In order to improve the quality and the availability of experimental measurements, efforts will focus on the characterisation of the studied media. Multiphase flows (determination of average parameters and local measurements on gas and liquid phases, and for tri phases: gas – liquid – particles) and transport phenomena between phases will be particularly concerned.

The development and setting up of on-line measurement techniques will be an important and necessary step to deepen knowledge in the field of process characterisation and control. To do this, the acquisition of new analytical equipment will be necessary, as will be the training of personnel for the correct operation of these techniques.

Studies devoted to gas or liquid reactions require an improved measurement of time dependent concentration variations. The use of FTIR or Raman probes will allow the limitations associated with sampling measurements to be overcome. This experimental effort could be completed by a numerical approach for the development of software sensors, which allow the acquisition of data that are not physically obtainable by measurements, by using other measured values coupled with a model.
Studies linked to environmental issues play an important role in the work carried out in the department and will be developed.

- D'autre part, de nombreuses études concernent les problèmes de traitement qui mettent en jeu des procédés classiques comme l'adsorption qu'il faut encore optimiser et/ou coupler à d'autres procédés, notamment des procédés catalytiques, pour développer des procédés hybrides. Dans ce domaine, on peut citer le procédé AD-OX qui associe le traitement de l'eau par adsorption puis régénération in-situ du matériau adsorbant (charbon actif) par oxydation catalytique avec l'air. D'autres travaux vont être entrepris en associant des phases de prétraitement ou d'activation par ultrasons.

Les procédés catalytiques restent un thème important du département. Dans ce domaine, des études vont démarrer concernant l'utilisation de liquides ioniques non aqueux qui représentent une classe nouvelle de solvants pour des procédés propres. Ces solvants ont déjà été utilisés en catalyse homogène et biphasique. Par exemple, un objectif sera d'étudier la cinétique de réactions d'hydroformylation en milieu biphasique liquide ionique – phase organique, en incorporant les effets du transfert de matière gaz-liquide et liquide-liquide.

Un autre point fort concerne le développement de nouvelles technologies dans un objectif de mettre en place des procédés plus propres et plus sûrs. En ce sens, la sécurité des procédés constitue une thématique qui sera appelée à se développer pour répondre aux attentes du milieu industriel, notamment des PME/PMI, mais aussi de la société en général qui n'accepte plus la présence d'installations dangereuses dans son voisinage. L'objectif des travaux est de développer des procédés assurant un fonctionnement intrinsèquement sûr de par leur conception et leur mise en œuvre.
Un exemple concerne le mélange et l'agitation qui sont de plus en plus étudiés dans le contexte plus large du procédé, en intégrant par exemple les conséquences des propriétés hydrodynamiques aux aspects liés à la sécurité du procédé ou aux propriétés applicatives des produits. Ce positionnement exige de travailler de façon de plus en plus interactive et transverse avec des spécialistes de la réaction chimique, de l'optimisation, de la sécurité industrielle...

Les travaux entrepris dans le domaine de l'intensification des procédés ont également atteint un développement important et vont représenter un thème de recherche majeur du département. Il s'agit d'une part de poursuivre les travaux dans le domaine de la distillation réactive pour lesquels les développements vont en particulier concerner l'utilisation de nouveaux internes. D'autre part, nous allons poursuivre les études dans le domaine de la conception, la réalisation et l'étude de nouveaux types d'échangeur/réacteurs. L'objectif est ici de réaliser la transposition batch-continu dans des appareils pour lesquels les transferts (thermiques et de matière) sont fortement augmentés. Le fait de repousser les contraintes (par exemple d'échange thermique) permet de définir des conditions opératoires plus intenses (température, catalyseur ...) qui compenseront les faibles temps de séjour de ce nouveau type d'appareils. Nous travaillons également au développement d'autres types de réacteurs multifonctionnels associant réaction et séparation dans l'objectif de traiter des milieux polyphasiques liquide-liquide ou solide-liquide.

- Firstly, this concerns the use of supercritical fluids, for the development of cleaner processes. The supercritical fluid can be engaged in the operation as a solvent or as a reactant.
- Secondly, a lot of studies concern waste treatment problems that use classical operations, such as adsorption. These have to be optimised or coupled to other ones, like catalytic processes, in order to develop hybrid processes. The AD-OX process is a good example, it associates water treatment absorption followed by an in-situ regeneration of the absorbent material (active coal) by catalytic oxidation with air. Other works will concern the coupling of pre-treatment phases and ultrasonic activation.

The study of catalytic processes is an important activity of the department. In this field, studies involve the use of non aqueous ionic liquids, which are a new class of solvents, for the development of cleaner processes. These solvents are used in homogenous and biphasic catalysis. One objective will be to study the kinetics of hydroformylation reactions carried out in a two-phase mixture (ionic liquid phase – organic phase), whilst incorporating the gas-liquid and liquid-liquid mass transfer effects.

The development of new technologies for designing cleaner and safer processes is an important research field in the department. Process safety will be developed to help industrialists in their approach, notably SMEs, and to respond to some societal concerns related to the dangers of industrial plants. The aim of the work is to develop intrinsically safer processes by acting on their design and operating mode.
Concerning mixing, the studies will more often involve the entire process operation, taking into account the consequences of the hydrodynamics on process safety and the applicative properties of the final product. This implies an interactive and transversal cooperation with specialists of chemical reaction, optimisation and process safety.

Work in the field of process intensification has reached an important stage of development and will represent a main research area of the department. Concerning reactive distillation, developments will mainly concern the study of new column internals. Other works, which are already underway, concern the design, the set-up and the operation of new types of reactor – heat exchangers. The objective is to transpose batch operations to continuous processes in devices where the mass and heat transfer is dramatically increased. By eliminating the limitations due to heat transfer, it is possible to define intensive operating conditions (temperature, catalysis ...), compensating the low residence time of these new devices. Studies will also concern the design of multifunctional devices, coupling reaction and separation processes, with the aim of handling liquid-liquid or solid-liquid multiphase mixtures.

Depuis le dernier exercice, les micro-technologies ont été développées et constituent maintenant un secteur clé du département. Cette activité s'appuie sur la participation à plusieurs programmes et sur une collaboration avec le LAAS. Différents travaux sont en cours et devront amener des avancées significatives. Les attendues se situent à la fois dans le domaine de la caractérisation par la mise en œuvre de méthodes de mesure comme la micro-PIV et d'outils numériques de simulation, du développement d'outils d'acquisition de données de base en vue du développement de procédés, en particulier la détermination de mesures de cinétiques réactionnelles et de transfert, et de la mise au point de nouveaux procédés, par exemple pour le traitement in-situ de rejets polluants.

Cet effort en recherche a conduit à l'élaboration d'un projet de création de plate-forme technologique dans le domaine de l'intensification des procédés continus. L'objectif est de concevoir des démonstrateurs instrumentés, capables d'opérer dans des conditions industrielles.

Micro-technologies have been strongly developed and are now a key point of the department. This activity is associated mainly with different research programs and a close collaboration with LAAS. Different studies are in progress and will bring significant results. Local characterisation and quantification of the flow fields via micro-PIV measurements and simulation tools are amongst the expected results. Another objective is the development of a fast data acquisition tool for process design, via the rapid determination of reaction and mass transfer kinetics. The last point will be the design and fabrication of microstructured devices for specific purposes, for example for the in-situ treatment of pollutants.

These combined research efforts have lead to the organisation of a new project whereby the objective is to create a technological platform in the field of continuous process intensification. The aim is to design and set-up instrumented pilot demonstrators that can operate under industrial conditions

DÉPARTEMENT
Bioprocédés et Systèmes Microbiens (BioSyM)

Le département nouvellement constitué par la fusion des équipes " fermentations et bioreacteurs " (département RMS) et " interfaces matériaux conducteurs/systèmes biologiques " (département PEM) et renforcé par l'intégration de Annie Leszkowicz et celle en cours de Marion Alliet, dispose de compétences plus fortes et nouvelles dans les domaines de la physiologie et génétique des microorganismes, de la microbiologie industrielle, du génie des procédés, de la bio-électrochimie et de la toxicologie.
Les champs de recherche dans lesquels le département confortera son implication sont ceux des Industries Agro-Alimentaires, de la Santé, de l'Environnement et de l'Energie.
Afin de tirer au mieux parti des compétences complémentaires des membres, une structuration des actions de recherche par "projet" est mise en place. Les projets (axes de travail) pour les prochaines années se définissent :

- Axe 1 : mycotoxines *d'Aspergillus et Penicillium*.
  Champs concernés : santé ; IAA.

- Axe 2 : filamenteux et métabolites secondaires.
  Champ concerné : santé.

- Axe 3 : microorganismes des boissons fermentées.
  Champ concerné : IAA.

- Axe 4 : traitement d'effluents en bioréacteurs et génotoxicité.
  Champs concernés : environnement ; santé ; IAA.

- Axe 5 : interfaces matériaux/systèmes biologiques.
  Champs concernés : environnement ; énergie; IAA.

Axe1 : mycotoxines d'*Aspergillus* et *Penicillium*.

Parmi les micro-organismes capables de produire des toxines alimentaires, nous avons tout particulièrement étudié le rôle *d'Aspergillus ochraceus et Aspergillus carbonarius* dans les filières viticole et céréalière. Les travaux à développer portent sur les aspects complémentaires de la compréhension des mécanismes de contrôle de la production de métabolites secondaires chez ces deux espèces, de la gestion de la présence de l'ochratoxine A dans la filière viti-vinicole et de l'évaluation du risque lié à la présence de cette toxine A (OTA). Dans ce cadre, la mise au point de nouvelles méthodes moléculaires de quantification des champignons toxinogènes est une priorité. Une autre partie consiste en l'évaluation du risque du développement de ces mycotoxines dans différents produits (céréales, café, noix...) pour la santé des animaux ou de l'homme (thèse en co-tutelle). L'étude du mécanisme d'action de ces molécules permet d'envisager des méthodes de décontamination et/ou

DEPARTMENT Bioprocesses and Microbial Systems

This new research group offers new and strong competences in the fields of physiology and genetics of micro-organisms, process engineering, bio-electrochemistry and toxicology. The areas in which the group is concerned are Food Industry and Technology, Health, Environment and Energy. For the next years, the main projects deal with:

1 : mycotoxins of Aspergillus and Penicillium (Food Industry and Health).
2 : filamentous fungi and secondary metabolites (Health).
3 : micro-organisms for fermented drinks (Food Industry).
4 : waste waters treatment by bioreactors and genotoxicity (Environment, Health, Food Industry).
5 : materials / biological systems interfaces (Environment, Energy, Food Industry).

1 : mycotoxins of Aspergillus and Penicillium.

In the previous works, new interesting molecules produced by Aspergillus and Penicillium were discovered and identified. The main objective is now to obtain the data required for their industrial production. Also, we will be interested in the research of efficient process in order to eliminate these toxins from the products used for human or animal feed. At least, the studies on the correlation between genotoxicity and kinetics of the biological reaction will be increased and the possibility to use the yeast cell as a biological model instead of the animal cell will be investigated (partnership with USJ of Beyrouth).

2 : filamentous fungi and secondary metabolites.

Among the new microbial strains isolated during the previous studies, some are able to synthesize molecules full of interest for therapeutic applications or as pesticides. The biosynthetic pathways of some of these molecules were elucidated and it is now necessary to define precisely the parameters needed for an industrial production. These studies will be developed in the frame of European projects.

3 : micro-organisms for fermented drinks.

In this field, the main objectives are to carry on the work done and especially the studies dealing with the yeast Brettanomyces which need a sound fundamental research work. Also the studies developed in relationship with Proenol Lda (Portugal) on the use of immobilized yeast cell for wine making will continue as well as these done on modelling of microbial behaviour in the frame of a national

de prévention et la recherche de procédés efficaces d'élimination de mycotoxines (d'aliments humains ou animaux) sera poursuivie, en liaison entre autres avec des groupes industriels (GOEMAR).

Axe 2: filamenteux et métabolites secondaires.

Lors des travaux précédents, différentes souches microbiennes nouvelles ont été isolées et caractérisées. Un certain nombre d'entre elles ont montré des capacités à synthétiser des molécules offrant un intérêt thérapeutique ou "pesticide". Pour certaines de ces molécules, les voies de biosynthèse ont été clairement définies et nous disposons donc des éléments nécessaires pour maintenant nous intéresser à la définition et à l'optimisation des paramètres de leur production industrielle : établissement des cinétiques, influence des variables environnementales, modélisation...(cette démarche est déjà entamée). Pour les autres, il reste encore à étudier les voies de biosynthèse avant d'envisager l'étude de la réaction de production. Ces études sont programmées dans le cadre de contrats européens.

Axe 3 : microorganismes des boissons fermentées.

Ici, les objectifs sont d'abord de poursuivre les études en cours actuellement. En particulier les travaux entrepris sur la levure de contamination Brettanomyces (contrats industriels) vont demander un gros effort de recherche fondamentale pour arriver à des conclusions pratiquement utilisables. L'analyse (cinétique et stoechiométrie) de la réaction de bioconversion du p-coumarate en ethyl phénol est donc un objectif prioritaire. Sur un autre plan, les travaux (déjà transférés industriellement) sur l'immobilisation des microorganismes seront poursuivis en partenariat industriel (Proenol Lda, Portugal). Enfin, en collaboration avec Xuan Meyer (département PSI) et dans le cadre d'un GDR en cours de constitution (sous la direction de C.G. Dussap) les études de modélisation seront poursuivies. Bien sûr, la thématique " cultures mixtes " ne sera pas abandonnée et au contraire profitera d'un nouvel essor grâce à l'établissement d'un partenariat avec le LBB de l'INSA (thèse en co-direction en projet). Cet axe, un des plus anciens de l'équipe, est donc toujours d'actualité et le département va se trouver dans les années à venir de plus en plus impliqué dans des relations industrielles ou de coopération internationale (Mexique, Cuba, Portugal, Brésil...) sur ce thème de la maîtrise des microorganismes dans les procédés d'élaboration de boissons fermentées. Enfin, les études corrélant, chez les levures de fermentation, la génotoxicité (adduits à l'ADN) induite par les pesticides aux perturbations des cinétiques réactionnelles seront étendues (partenariat avec l'Université Saint Joseph de Beyrouth).

Axe 4 : traitement d'effluents en bioréacteurs et génotoxicité.

Les études déjà conduites sur la mise en œuvre de bioréacteurs à membranes fibres creuses immergées pour le traitement des eaux domestiques en vue de leur réutilisation l'ont sur un effluent synthétique modèle.
La poursuite du travail de recherche sera donc consacrée à la validation des résultats par des essais sur site et

network (GDR). And for sure, due to a strong partnership with INSA the studies on mixed microbial cultures will be improved. As the department is well known for this activity in the field of fermented drinks, the numerous relationships with different foreign labs (Mexico, Cuba, Brazil, Portugal, Thailand...) has to be maintained and developed.

4 : waste waters treatment by bioreactors and genotoxicity.

The studies already done on the waste water treatment by bioreactor with submerged hollow fibres were made using a synthetic medium. This process has now to be tested using an industrial sewage and on an industrial scale apparatus. That will be done in the frame of a project with the "Grand Toulouse Community".
Pesticides are largely used but they also may be damageable for human health or environment. An original technique (ADN adducts) to appreciate their effects on human health was developed in our lab by A. Leszkowicz and so two big programs (GAMATOX and ARC project) have to be carried on. This technique will also be tested in order to evaluate the efficiency of a treatment by bioreactor coupled to nanofiltration ; it will be done in relationship with C. Causserand (department GIMD), Hospital of Montpellier and Pall Exekia company.

5 : materials / biological systems interfaces.

The research works carried on in this field were recently brought in our department by R. Bergel and R. Basseguy from the department PEM and the association is expected to open new approaches. Particularly, the studies dealing with the biocorrosion will be increased in the frame of programs such as SMILE, preparing the 7° PCRDT. As far as the biofilms are concerned, a special care will be devoted to some novel technologies able to solve problems for captors, biofuel cells, membranes... (European project ea-biofilms). Also the participation of the department to the PNIR Biofilms will be carried on.

une collaboration avec la Communauté d'Agglomération du Grand Toulouse (station d'épuration de Brax) est déjà en cours et son objectif principal (thèse) sera d'analyser l'implication des phénomènes bio-physico-chimiques dans le colmatage des membranes et leur modélisation. L'étude plus particulière des effets hydrodynamiques de l'aération dans ce type de réacteur recevra l'appui de M. Alliet qui doit rejoindre notre département.
Les pesticides largement utilisés à tous niveaux de l'activité humaine (agriculture, santé, IAA) peuvent entraîner, pour ceux qui les manipulent comme pour ceux qui en consomment les résidus, des effets délétères (baisse de la fertilité par exemple). Par ailleurs, leur accumulation n'est pas sans risque pour l'environnement au sens large. La technique originale développée au laboratoire par A. Leszkowicz basée sur la détection d'adduits à l'ADN constitue une méthode très performante pour apprécier l'impact de ces molécules sur les cellules reproductrices. A ce titre nous sommes impliqués dans deux importants programmes de santé humaine : le projet GAMATOX et un projet de l'ARC. Les études conduites sur le développement d'autres "biomarqueurs" (tests de cytotoxicité, induction d'oncogène...) seront poursuivies.
Enfin, cette technique (adduits à l'ADN) sera mise à profit pour évaluer l'efficacité de traitements par bioréacteurs à membrane couplés à une nano filtration et le programme de travail construit sur ce thème est présenté à l'ANR (collaborations avec C. Causserand du département GIMD, avec la pharmacie des hôpitaux de Montpellier, la société Pall Exekia).

Axe 5 : interfaces matériaux/systèmes biologiques.

Les thématiques développées dans cet axe ont été apportées au département par R. Basseguy et A. Bergel du département PEM. Cette nouvelle configuration assure la multidisciplinarité indispensable pour développer pleinement les études engagées ces dernières années. Les travaux sur la biocorrosion (PEM 4.2) vont trouver un souffle supplémentaire à travers le GDRE+SMILE ; dans ce cadre, un projet de site d'accueil Marie Curie RTN sera soumis à la CE d'ici le fin de l'année 2005 et SMILE pour sa part est destiné à préparer le 7° PCRDT. Le dépôt d'un brevet (en cours d'examen) pourrait conduire à un élargissement de cette thématique vers de nouveaux secteurs d'application. L'effort en ingénierie des biofilms (PEM 4.3) portera sur la conception de technologies innovantes capables d'assurer au LGC le leadership dans la mise en œuvre des avancées fondamentales attendues du programme européen " ea-biofilms", aussi bien pour les applications capteur, synthèse, fonctionnalisation de membranes (lien avec Axe 4) que biopiles à combustible. Dans cet objectif, le soutien de l'ANR sera sollicité soit directement soit à travers le PNIR-Biofilms.

le LABORATOIRE DE GÉNIE CHIMIQUE
UMR 5503
TOULOUSE

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

PRODUCTION SCIENTIFIQUE
SCIENTIFIC PUBLICATIONS

SOMMAIRE
CONTENTS

Articles de revue, ouvrages scientifiques, articles de vulgarisation,
communications avec actes, communications sans actes,
conférences invitées,
brevets

123 Département Génie des Interfaces et des Milieux Divisés
Department Interface and Particle Interaction Engineering

133 Département Procédés Electrochimiques et Matériaux
Department Electrochemical Process and Material Engineering

139 Département Procédés et Systèmes Industriels
Department Process and System Engineering

147 Département Réaction, Mélange et Séparation
Department Reaction Mixing and Separation

160 Thèses et Habilitations à Diriger des Recherches

ARTICLES DE REVUES

2001

KLASEBOER E., CHEVAILLIER J.P., MATE A., MASBERNAT O., GOURDON C.
Model and experiments of a drop impinging on an immersed wal
Physics of Fluids, 2001, Vol. 13, Num. 1, Pp. 45-57,

FARGES D., STEINMETZ D., HEMATI M.
Etude expérimentale et modélisation du séchage par contact sous atmosphère inerte
Cahier de l'AFSIA : Séchage et Aéraulique, 2001, Vol. 19, Pp. 101-106

KOUTCHOUKALI M.S., DIGUET S., STEINMETZ D., HEMATI M.
Etude expérimentale et modélisation du séchage du carbonate de sodium monohydrate en lit fluidisé circulant
Cahier de l'AFSIA : Séchage et Aéraulique, 2001, Vol. 19, Pp. 91-9

DOUNIT S., HEMATI M., STEINMETZ D.
Natural gas combustion in fluidised bed reactors between 600 and 850 0C : experimental study and modelling of the freeboard
Powder Technology, 2001, Vol. 120, Pp. 49-54

PONT V., SALEH K., STEINMETZ D., HEMATI M.
Influence of the physico-chemical properties on the growth of solid particles by granulation in fluidized bed
Powder Technology, 2001, Vol. 120, Pp. 97-104

MARROT B., BISCANS B.
Impact of a single crystal in solution on an immersed target in conditions which simulate impact attrition in crystallizers
Powder Technology, 2001, Vol. 120, Pp. 141-150

FRANCES C., LE BOLAY N., BELAROUI K., PONS M.N.
Particle morphology of ground gibbsite in different grinding environments
International Journal Miner. Process., 2001, Vol. 61, Pp. 41-56

BELFADHEL H., FRANCES C.
Wet batch grinding of alumina hydrate in a stirred bead mil
Powder Technology, 2001, Vol. 119, Num. 2-3, Pp. 257-268

BORDES C., GARCIA F., FRANCES C., BISCANS B., SNABRE P.
On line optical investigation of concentrated dispersions in precipitation and grinding processes
Kona Powder and Particle, 2001, Num. 19, Pp. 1-15

CAUSSAT B., SCHEID E., DE MAUDUIT B., BERJOAN R.
Boron doped polysilicon : growth kinetics and structural aspects of LPCVD films in the case of high doping level
Solid State Phenomena, 2001, Vol. 80, Pp. 59-64

CAUSSAT B., SCHEID E., DE MAUDUIT B., VASQUEZ L., COT D., VAN DER LEE A., DURAND J., COUDERC J.P.
Corrélations entre conditions d'élaboration et microstructure de dépôts LPCVD : Partie 6 : dépôt de silicium dopé in situ au bore
Entropie, 2001, Vol. 231, Pp. 2-11

KOUADRI MOSTEFA S., SERP P., HEMATI M., CAUSSAT B.
Silicon CVD on microporous powders in a fludized bed
Powder technology, 2001, Vol. 120, Pp. 82-87

BARATHIEU P., CAUSSAT B., SCHEID E., JAUME D., COUDERC J.P.
LPCVD Semi-Insulating polycrystalline silicon (SIPOS) thin films : Part I : Experimental study and proposal of new kinetic laws
Journal of The Electrochemical Society, 2001, Vol. 148, Num. 3, Pp. 149-155

BARATHIEU P., CAUSSAT B., SCHEID E., COUDERC J.P.
LPCVD Semi-Insulating polycrystalline silicon (SIPOS) thin films : Part II : Theoretical local analysis of the process
Journal of The Electrochemical Society, 2001, Vol. 148, Num. 3, Pp. 156-161

ZAMBOV L., CAUSSAT B., BOUBEKER R., COUDERC J.P.
Kinetics of the initial stages of film formation during low pressure chemical vapor deposition of polysilicon by silane pyrolysis
Journal de Physique IV, 2001, Vol. 11, Pp. Pr3-189-Pr3-196

ANTELMI D., CABANE B., MEIRELES M., AIMAR P.
Cake collapse in frontal filtration
Langmuir, 2001, Vol. 17, Num. 22, Pp. 7137-7144,

AFONSO J.L., CLIFTON M.J.
Coupling between transfer phenomena in continuous-flow electrophoresis: effect on the steadiness of the carrier flow
Chemical Engineering Science, 2001, Vol. 56, Pp. 3053-3064

CAUSSERAND C., KARA Y., AIMAR P.
Protein fractionation using selective adsorption on clay surface before filtration
Journal of Membrane Science, 2001, Vol. 186, Pp. 165-181

CARRERE H., BLASZKOW F., ROUX DE BALMANN H.
Modelling the clarification of lactic acid fermentation broths by cross-flow microfiltration
Journal of Membrane Science, 2001, Vol. 186, Pp. 219-230

BAILLY M., ROUX DE BALMANN H., AIMAR P., LUTIN F., CHERYAN M.
Production processes of fermented organic acids targeted around membrane operations: design of the concentration step by conventional electrodialysis
Journal of Membrane Science, 2001, Vol. 191, Pp. 129-142

GALIER S., ROUX DE BALMANN H.
Study of the mass transfer involved in an electrophoretic membrane contactor
Journal of Membrane Science, 2001, Vol. 194, Pp. 117-133

GHOGOMU J.N., GUIGUI C., MANNO P., ROUCH J.C., CLIFTON M.J., APTEL P.
Hollow-fibre membrane module design: comparison of different curved geometries with Dean vortices
Journal of Membrane Science, 2001, Vol. 181, Pp. 71-80

GUIGUI C., BONNELYE V., DURAND L., BOURLIER J.C., ROUCH J.C., APTEL P.
Combination of coagulation and ultrafiltration in drinking water production
Water Science and Technology: Water supply, 2001, Vol. 1, Num. 5-6, Pp. 107-118

APTEL P.
Transferring academic research to industry : a case study, ultrafiltration for potable water production
La Chemica e Il'Industria, 2001, Vol. 83, Num. 2, Pp. 27-29

EL GHZAOUI A., TROMPETTE J.L., CASSANAS G., BARDET L., FABREGUE E.
Comparative rheological behavior of some cellulosic ether derivatives
Langmuir, 2001, Vol. 17, Pp. 1453-1456

2002

PRAT L., GUIRAUD P., RIGAL L., GOURDON C.
A one dimensional model for the prediction of extraction yields in a two-phase modified twin-screw extruder
Chemical Engineering and Processing, 2002, Vol. 41, Num. 9, Pp. 743-751

MOLINA BOISSEAU S., LE BOLAY N., PONS M.N.
Fragmentation mechanism of poly(vinyl acetate) particles during size reduction in a vibrated bead mill
Powder Technology, 2002, Num. 123, Pp. 282-291

MOLINA BOISSEAU S., LE BOLAY N.
The mixing of a polymeric powder and the grinding medium in a shaker bead mill
Powder Technology, 2002, Num. 123, Pp. 212-220

MOLINA BOISSEAU S., LE BOLAY N.
Characterisation of the physico-chemical properties of polymers ground in a vibrated bead mill
Powder Technology, 2002, Num. 128, Pp. 99-106

GARCIA F., LE BOLAY N., FRANCES C.
Changes of surface and volume properties of calcite during a batch wet grinding process
The Chemical Engineering Journal, 2002, Vol. 85, Num. 2.3, Pp. 177-187

TROMPETTE J.L.
An empirical kinetic model for the gelation of concentrated latex suspension in the presence of nonadsorbing polymer chains
Journal of colloid and interface science, 2002, Vol. 250, Pp. 451-456

BORDES C., GARCIA F., SABRE P., FRANCES C.
On-line characterization of particle size during an ultrafine wet grinding process
Powder Technology, 2002, Vol. 128, Pp. 218-228

AMARO-GONZALEZ D., BISCANS B.
Spherical agglomeration during crystallization of an active substance
Powder Technology, 2002, Num. 128, Pp. 188-194

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., CABASSUD M., BISCANS B.
Calcium phosphate precipitation in a pellet reactor
Chemical Engineering Transactions, 2002, Vol. III, Pp. 1251-1256

DUMAS M., CARVIN P., BISCANS B.
Characterization of liquid inclusions formed in industrial crystals
Chemical Engineering Transactions, 2002, Vol. II, Pp. 713-718

CABANE B., MEIRELES M., AIMAR P.
Cake collapse in frontal filtration of colloidal agregates : mechanisms and consequences
Desalination, 2002, Vol. 145, Pp. 155-161

MEIRELES M., CLIFTON M., AIMAR P.
Filtration of yeast suspensions : experimental observations and modelling of dead-end filtration with a compressible cake
Desalination, 2002, Vol. 147, Pp. 19-25

Département Génie des Interfaces et Milieux Divisés (GIMD)

CAUSSERAND C., AIMAR P., VILANI C., ZAMBELLI T.
Study of the effects of defects in ultrafiltration membranes on water flux and molecular weight cut-off
Desalination, 2002, Vol. 149, Pp. 485-491

BEQUET S., REMIGY J.C., ESPENAN J.M., ROUCH J.C., CLIFTON M.J., APTEL P.
From ultrafiltration to nanofiltration hollow fiber membranes : a continuous UV photografting process
Desalination, 2002, Vol. 144, Pp. 9-14

AL-AKOUM O., MERCIER-BONIN M., DING L., FONADE C., APTEL P, .JAFFRIN Y.
Comparison of three different systems for flux enhancement
Desalination, 2002, Vol. 147, Pp. 31-36

GUIGUI C., ROUCH J.C., DURAN-BOURLIER L., BONNELYE V., APTEL P.
Impact of the coagulation conditions on the in-line coagulation process for drinling water production
Desalination, 2002, Vol. 147, Pp. 95-101

AKBARI A., DESCLAUX S., REMIGY J.C., APTEL P.
Treatment of textile dye effluent using a new photografted nanofiltration membrane
Desalination, 2002, Vol. 149, Pp. 101-107

ALBASI C., BESSIERE Y., DESCLAUX S., REMIGY J.C.
Filtration of biological sludge by immersed hollow fibers membrane : comparison of bakflush or static sequences
Desalination, 2002, Vol. 146, Pp. 427-431

GALIER S., ROUX DE BALMANN H.
Influence of electrostatic interactions in electrophoretic membrane contactors
Desalination, 2002, Vol. 149, Pp. 351-356

CARRERE H., BLASZKOW F., ROUX DE BALMANN H.
Modelling the microfiltration of lactic acid fementation broths and comparison of operating modes
Desalination, 2002, Vol. 145, Pp. 201-206

AKBARI A., REMIGY J.C., APTEL P.
Treatment of textile dye effluent using a polyamide-based nanofiltration membrane
Chemical Engineering and Processing, 2002, Vol. 41, Num. 7, Pp. 601-609

ALBASI C., BESSIERE Y., DESCLAUX S., REMIGY J.C.
Filtration of biological sludge by immersed hollow-fiber membranes : influence of initial permeability choice of operating conditions
Desalination, 2002, Vol. 146, Num. 1, 3, Pp. 427-431

BACCHIN P., SI-HASSEN D., STAROV V., CLIFTON M.J., AIMAR P.
A unifying model for concentration polarization gel-layer formation and particle deposition in cross-flow membrane filtration of colloidal suspensions
Chemical engineering science, 2002, 0009-2509, Vol. 75, Num. 1, Pp. 77-91

STAROV V, ZDANOV V.MEIRELES M. MOLLE C.
Viscosity of concentrated suspensions:influence of cluster formation
Advances in colloid and interface science, 2002, 0001-8686, Vol. 96, Pp. 279-293

BACCHIN P., MEIRELES M., AIMAR P.
Modeling of filtration : from the polarised layer to deposit formation and compaction
Desalination, 2002, 0011-9164, Vol. 145, Pp. 139-147

ESPINASSE P., BACCHIN P., AIMAR P.
Accurate measures of critical flux, a new tool to manage operating conditions in ultrafiltration processes
Desalination, 2002, 0011-9164, Num. 146, Pp. 91-97

ROUX DE BALMANN H., BAILLY M., LUTIN F., AIMAR P.
Modelling of the conversion of weak organic acids by bipolar membrane electrodialysis
Desalination, 2002, 0011-9164, Vol. 149, Pp. 399-404

NIETO J.P., CAUSSAT B., COUDERC J.P., ORAIN I., JEANNEROT L.
Atmospheric pressure chemical vapor deposition of BPSG films from TEOS, 03, TMB, TMPi : determination of a chemial mechanism
Journal de Physique IV, 2002, Vol. 12, Pp. Pr4-37-Pr4-44

GRIS H., CAUSSAT B., COT D., DURAND J., COUDERC J.P.
LPCVD Silicon-based films formation in submicron trenches into industrial equipments : experiments and simulation
Advanced Materials, CVD, 2002, Vol. 8, Num. 5, Pp. 213-219

VAHLAS C., JUAREZ F., FEURER R., SERP P., CAUSSAT B.
Fluidization, spouting and metalorganic chemical vapor deposition of platinum group metals on powders
Advanced Materials, CVD, 2002, Vol. 8, Num. 4, Pp. 127-144

GRATIAS A., STEINMETZ D., HEMATI M., DOUNIT S., ABADANES S.
Incinération des boues humides en lit fluidisé : influence des conditions opératoires sur les émissions des micro polluants gazeux et métaux lourds
Entropie, Vol. 243, Pp. 2-15

2003

SALEH K., STEINMETZ D., HEMATI M.
Experimental study and modelling of fluidised bed coating and agglomeration
Powder Technology, 2003, Vol. 130, Pp. 116-123

HEMATI M., CHERIF R., SALEH K., PONT V.
Fluidized bed coating and agglomeration : Influence of process-related variables and physico-chemical properties on the growth kinetics
Powder Technology, 2003, Vol. 130, Pp. 18-34

DESNOYERS C., MASBERNAT O., GOURDON C.
Experimental study of drop size. Distributions at high phase ratio in a liquid-liquid dipersion
Chemical Engineering Science, 2003, Vol. 58, Num. 7, Pp. 1353-1363

AUGIER F., GUIRAUD P., MASBERNAT O.
Volume fraction gradient induced flow patterns in a two-liquid phase mixing layer
Chemical Engineering Science, 2003, Vol. 57, Num 17, Pp. 3985-3993

AUGIER F., GUIRAUD P., MASBERNAT O.
Simultaneous measurement of velocities and phase fraction in liquid-liquid flows using paticle image velocimetry
Exp. in Fluids, 2003

AUGIER F., GUIRAUD P., MASBERNAT O.
Local measurements of relative velocity and drag coefficient in a dense two-liquid phase homoeneous dispersed flow
AIChE, 2003

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., CABASSUD M., DOMENECH S.
A thermochemical approach for calcium phophate precipitation modeling in a pellet reactor
The Chemical Engineering Journal, 2003, Num. 94, Pp. 41-50

MONTASTRUC,L., AZZARO C., BISCANS B., CABASSUD M., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
A general framework for pellet reactor modelling: Application to P-recovery
Transactions of the institution of chemical engineers Part A: Chemical Engineering Research and Design , 2003, Vol.81, N°9, 1271-1278.

BORDES C., SNABRE P., FRANCES C., BISCANS B.
Optical investigation of shear and time dependent microstructural changes to stabilized and depletion flocculated concentrated latex spheres suspensions
Powder Technology, 2003, Num. 130, Pp. 331-337

GARCIA F., LE BOLAY N., FRANCES C.
Rheological behaviour and related granulometric properties of dense aggregated suspensions during an ultrafine comminution process
Powder Technology, 2003, Vol. 130, Pp. 407-414

LE BOLAY N.
On agglomeration phenomena in ball mills – Application to the synthesis of composite materials
Powder Technology, 2003, Vol. 130, Pp. 450-455

LE BOLAY N.
Le co-broyage : une alternative dans le mélange de poudres et la synthèse de matériaux composites pulvérulents
Process Manutention, 2003, Vol. 35, Pp. 54-57

DENIS C., HEMATI M., CHULIA D., LANNE J-Y., BUISSON B., DASTE G., ELBAZ F.
A model of surface renewal with application to the coating of pharmaceutical tablets in rotary drums
Powder Technology, 2003, Vol. 130, Pp. 174-180

BLANQUET E., DONNADIEU P., SCHOULER M.C., SIMON J.P., MARET M., PONS M., COCHETEAU V., CAUSSAT B., SCHEID E., MUR P., SEMERIA M.N.
Macroscopic and microscopic investigations on the fabrication of silicon nanodots on oxidised silicon wafers by LPCVD
The Electrochemical Society Proceeding Volumes, 2003, Vol. 08, Pp. 1064-1071

CAUSSAT B., SERP P., VAHLAS C.
Fluidized bed chemical vapor deposition : state of the art and main challenges
The Electrochemical Society Proceeding Volumes, 2003, Vol. 08, Pp. 530-537

CORRIAS M., CAUSSAT B., AYRAL A., DURAND J., KIHN Y., KALCK Ph., SERP P.
Carbon nanotubes produced by fluidized bed catalytic CVD : first approach of the process
Chemical Engineering Science, 2003, Vol. 58, Pp. 4475-4482

GALIER S., ISSANCHOU S., MOULIN P., CLIFTON J.M., APTEL P.
Electrochemical measurement of velocity gradient at the wall of a helical tube
AIChE journal, 2003, 0001-1541, Vol. 49, Num. 8, Pp. 1972-1979

MEIRELES M., LAVOUTE E., BACCHIN P.
Filtration of a bacterial fermentation broth : harvest conditions effects on cake hydraulic resistance
Bioprocess and biosystems engineering, 2003, 1615-7591, Vol. 25, Num. 5, Pp. 309-314

TROMPETTE J.L., MEIRELES M.
Ion-specific effect on the gelations kinetics of concentrated colloidal silica suspensions
Journal of colloid and interface science, 2003, 0021-9797, Vol. 263, Pp. 522-527

TROMPETTE J-L., ROUAIX S., AMARO-GONZALEZ D.
Crystallisation and assessment of the surface tension of hydrophobic lobenzarit particles
Powder Technology, 2003, Vol. 132, Pp. 154-160

2004

CAUSSAT B., SCHEID E., DE MAUDUIT B., BERJOAN R.
Influence of dopant concentration and of substrate nature on the local organization of LPCVD in situ boron doped silicon films from silane and boron trichloride
Thin Solid Films, 2004, Vol. 446, Num. 2, Pp. 218-226

ALAVI S., CAUSSAT B.
Experimental study on fluidization of micronic powders
Powder Technology, 2004, (à paraître)

CLIMENT E., MAXEY M.R., KARNIADAKIS G.E.
Dynamics of self-assembled chaining in magneto-rheological fluids
Langmuir, 2004, Vol. 20, Pp. 507-513

DANCE S.L., CLIMENT E., MAXEY M.R.
Collision barrier effects on the bulk flow in a random suspension
Physics of Fluids, 2004, Vol. 16, Num. 3, Pp. 828-831

GALIER S., ROUX-de BALMANN H.
Study of biomolecules separation in an electrophoretic membrane contactor
Journal of membrane science, 2004, 0376-7388, Num. 241, Pp. 79-87

TROMPETTE J-L., CLIFTON M-J.
Influence of ionic specificity on the microstructure and the strength of gelled colloidal silica suspensions
Journal of Colloid and Interface Science, 2004, Vol. 276, Pp. 475-482

MEIRELES M., MOLLE C., CLIFTON M-J., AIMAR P.
The origin of high hydraulic resistance for filter cakes of deformable particles : cell-bed deformation or surface-layer effect?
Chemical Engineering Science, 2004, Vol. 59, Pp. 5819-5829

CAUSSERAND C., ROUAIX S., AKBARI A, AIMAR P.
Improvement of a method for the characterization of ultrafiltration membranes by measurements of tracers retention
Journal of Membrane Science, 2004, Vol. 238, Pp. 177-190

BACCHIN P.
A possible link between critical and limiting flux for colloidal systems: consideration of critical deposit formation along a membrane
Journal of Membrane Science, 2004, 0376-7388, Vol. 228, Num. 2, Pp. 237-241

GARCIA F., LE BOLAY N., TROMPETTE J.L., FRANCES C.
On fragmentation and agglomeration phenomena in an ultrafine wet grinding process : the role of polyelectrolytes additives
International Journal of Mineral Processing, 2004, Vol. 745, Pp. S43-S54

ZAPATA C., FRANCES C., LE BOLAY N., MOLINA-BOISSEAU S.
Production of small composite particles by co-grinding in a media mill – Characterisation of the granulometric and the mechanical properties
Trans. IChem. E., Part A, Chem. Eng. Res. Des., 2004, Vol. 82(A5), Pp. 631-636

ZAPATA-MASSOT C., FRANCES C., LE BOLAY N.
On the use of scanning electron microscopy for the modelling of co-grinding kinetics in a tumbling ball mill
Powder Technology, 2004, Vol. 143/144, Pp. 215-229

FRANCES C.
On modelling of submicronic wet milling processes in bead mills
Powder Technology, 2004, Vol. 143.144, Pp. 253-263

MONTASTRUC,L., AZZARO C., BISCANS B., CABASSUD M., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Some guidelines for pH control of a P-recovery pellet reactor
Phosphorus research bulletin, 2004, vol.15.

MONTASTRUC,L., AZZARO C., BISCANS B., DAVIN A., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Use of genetics algorithms and gradient based optimization techniques for calcium phosphate
Precipitation.
Chemical Engineering and Processing, 2004, VOL. 43, 1289-1298

BISCANS B.,MARROT B.
Impact attrition in crystallization processes : analysis of repeated impacts events of individual crystals.
Powder Technology , special issue breakage, 2004, vol.143-144, 264-272.

TEYCHENE S., AUTRET J.M., BISCANS B.
Crystallization of eflucimibe drug in a solvent mixture: effects of process conditions on polymorphism
J. Crystal Growth and Design 2004, vol 4-5, 971-977

2005

BACCHIN P., ESPINASSE B., AIMAR P.
Distributions of critical flux: modelling, experimental analysis and consequences for cross-flow membrane filtration
Journal of Membrane Science, 2005, Vol. 250, Num. 1-2, Pp. 223-234

BACCHIN P., BONINO J-P., MARTIN F., COMBACAU M., BARTHES P., PETIT S., FERRET J.
Surface pre-coating of talc particles by carboxyl methyl cellulose adsorption : study of adsorption and consequences on surface properties and settling rate,
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2005, (à paraître)

CAUSSERAND C., AIMAR P., CRAVEDI J-P., SINGLANDE E.
Dichloroaniline retention by nanofiltration membranes
Water research, 2005, Vol. 39.8, Pp. 1594-1600

ROUAIX S., CAUSSERAND C., AIMAR P.
Experimental study of the effects of hypochlorite on polysulfone membrane properties
Journal of Membrane Science, 2005, acceptée

GALIER S., ROUX DE BALMANN H.
Electrophoretic membrane contactors
Chemical engineering research & design, 2005, 0263-8762, Vol. 83, Num. A3, Pp. 268-275

BOUCHOUX A., ROUX-DE BALMANN H., LUTIN F.
Nanofiltration of glucose and sodium lactate solutions. Variations of retention between single and mixed solute solutions
Journal of Membrane Science, 2005, 0376-7388, Vol. 258, Num. 1-2, Pp. 123-132

BESSIERE Y., BACCHIN P., JEFFERSON B.
Dead end filtration of natural organic matter : experimental evidence of critical conditions
Desalination, 2005, 0011-9164, Vol. 175, Num. 1, Pp. 29-36

BACCHIN P., AIMAR P.
Critical fouling conditions induced by colloidal surface interaction: from causes to consequences
Desalination, 2005, 0011-9164, Vol. 175, Num. 1, Pp. 21-27

TROMPETTE J-L., CLIFTON M-J., BACCHIN P.
Ion-specific repulsive interactions in colloidal silica dispersions evidenced through osmotic compression measurements and implication in frontal ultrafiltration experiments
Journal of Colloid and Interface Science, 2005, Vol. 290, Is. 2, Pp. 455-461

MADELINE J-B, MEIRELES M., PERSELLO J., MARTIN C., BOTET R., SCHWEINS R., CABANE B.
From colloidal dispersions to colloidal pastes through solid-liquid separation processes
Pure Appl. Chem., 2005, Vol. 77, Num. 8, Pp. 1369-1394

BESSIERE Y., ABIDINE N., BACCHIN P.
Low fouling conditions in dead-end filtration: Evidence for a critical filtered volume and interpretation using critical osmotic pressure
Journal of Membrane Science, 2005, Vol 264, Pp. 37-47

AZRAGUE K., PUECH-COSTES E., AIMAR P., MAURETTE M-T., BENOIT-MARQUIE F.
Membrane photoreactor (MPR) for the mineralisation of organic polluants from turbid effluents
Journal of Membrane Science, 2005, (à paraître)

Département Génie des Interfaces et Milieux Divisés (GIMD)

NIETO J-P., JEANNEROT L., CAUSSAT B.,
Modelling of an industrial moving belt chemical vapor deposition reactor forming SiO-2 films
Chemical Engineering Science, 2005, Vol. 60, Num. 19, Pp. 5331-5340

JAOUEN L., ROQUETA F., SCHEID E., VERGNES H., CAUSSAT B.
Multiscale modelling of silicon based materials LPCVD in deep submicronic trenches : a continuum feature scale model
Electrochemical Society Proceedings, 2005, Vol. 2005-09, Pp. 111-118

COCHETEAU V., CAUSSAT B., MUR P., SCHEID E., DONNADIEU P., BILLON T.
LPCVD Synthesis of silicon nanodots from silane and for flash memory devices
Electrochemical Society Proceedings, 2005, Vol. 2005-09, Pp. 523-530

VAHLAS C., CAUSSAT B., SENOCQ F., GLADFELTER W-L., SARANTOPOULOS C., TORO D., MOERSCH T.
Fluidized bed as a solid precursor delivery system in a chemical vapor deposition reactor
Electrochemical Society Proceedings, 2005, Vol. 2005-09, Pp.221-228

DESPORTES S., STEINMETZ D., HEMATI M., PHILIPPOT K., CHAUDRET B.
Production of supported asymmetric catalysts in a fluidised bed
Powders Technology (Numéro spécial consacré au 4ème Colloque Science et Technologie des poudres), 2005, (à paraître)

GRATIAS A., HEMATI M., STEINMETZ D., BOUNIT S.
Drying of sewage sludges in a floatation fluidized bed reactor
Drying Technology, 2005, (à paraître)

TOUIL D., BELABED H-F., FRANCES C., BELAADI S.
Heat exchange modelling of a gate clinker cooler and entropy production analysis
Int. J. of Heat & Technology, 2005, Vol. 23, N°1, Pp. 61-68

TOUIL D., BELAADI S., FRANCES C.
Energy efficiency of cement finish grinding in a dry batch ball mill
Cement and Concrete Research, (à paraître)

TEYCHENE S., AUTRET J.M., BISCANS B.
Determination of solubility profiles of eflucimibe polymorphs: experimental and modelling
J. Pharmaceutical Science, accepté

OUVRAGES SCIENTIFIQUES

2002

APTEL P., QUEMENEUR F., MOULIN P.
Traitement des eaux et des effluents par UF.MF : Conduite des essais pilotes
Cahier du CFM , Num. 2, 2951615809

2003

BISCANS B.
Obtention de pulvérulents par cristallisation, précipitation, et décantation. Chapitre 12 : Technologie des pulvérulents dans les industries alimentaires et agricoles.
Lavoisier Techn. et Doc. J.P. Melcion, J.L. Ilari coordonateurs, 2003, 339-371

STEINMETZ D., GUIGON P.
Séchage en lit fluidisé
intitulé du livre : Technologie des pulvérulents dans les IAA
coordonnateurs : J.P Melcion et J.L Ilari ; Collection sciences et techniques agroalimentaires
Editions Tec & Doc, p315 à 338, 2003

2004

MEIRELES M., BACCHIN P., CLIFTON M.
Comment opérer une séparation à l'aide d'un procédé à membranes en maîtrisant le colmatage ?
Méthodes de génie des procédés : étude de cas, Lavoisier, BERGEL A., BERTRAND J., 2004, Pp. 143-162

CAUSSAT B.
Les procédés de CVD pour la microélectronique : du réacteur aux cristallites. Chapitre 3
Méthodes de Génie des Procédés - Etudes de cas, Hermès Science Publications, Lavoisier, BERGEL A., BERTRAND J., 2004, Pp. 75-103

AIMAR P., CAUSSERAND C., CLIFTON M.
Fractionnement d'un mélange et extraction : comment optimiser la sélectivité des procédés de séparation par membranes
Méthodes de génie des procédés : étude de cas, Lavoisier, BERGEL A., BERTRAND J., 2004, Pp. 111-141

ROUX-de BALMANN H.
Procédés de production d'acides organiques incluant des étapes électromembranaires
Méthodes de Génie des Procédés : étude de cas, Lavoisier, Bergel A., Bertrand J. , 2004, Vol. chap. 6, Pp. 165-190

FRANCES C.
Elaboration de suspensions microniques par broyage en voie humide. Chapitre 1
Méthodes de Génie des Procédés : études de cas, Lavoisier, Ed. Hermes Science, 2004, Pp. 27-50

ARTICLES DE VULGARISATION

2001

BAILLY M., ROUX de BALMANN H., AIMAR P., LUTIN F.
Stratégie de dimensionnement de procédés de production d'acides organiques incluant des étapes électromembranaires
Club Electrotechnologies Enseignement - Bulletin de liaison n°34 - Décembre 2001 – p.12-17

2003

ROUX-de BALMANN H.
Groupement d'intérêt scientifique Procédés de séparation et de transformation dans les industries Agro-alimentaires GIS CNRS/INRA PROSETIA
Lettre du SPI n° 36- Octobre 2003

APTEL P. , QUEMENEUR F. , MOULIN P.
Les procédés à membranes sous gradient de pression
Repères du N° 3 (mars 2003) de la REE (revue de l'Electricité et de l'Electronique

2004

BISCANS B.
Cristallisation: les nouvelles orientations des procédés industriels
Info Chimie Magazine N° 454, Avril 2004, 30-32.

BISCANS B.
" Au-delà des frontières : partenariat et excellence " Lettre SPI N°38 octobre 2004

COMMUNICATIONS AVEC ACTES

2001

PONT V., STEINMETZ D., HEMATI M.
Influence des paramètres du procédé et physico-chimiques sur la cinétique de granulation des poudres en lit fluidisé

Comm. 3ème Colloque Science et Technologie des Poudres, NANCY (France), 03-04.04.01, Vol. 15, Num. 77, Pp. 73-78

CENTENO F., HEMATI M., STEINMETZ D., CHAUDRET B., PHILIPPOT K.
Une nouvelle technique de préparation de catalyseurs par imprégnation directe en lit fluidisé
Comm. 3ème Colloque Science et Technologie des Poudres, NANCY (France), 03-04.04.01, Vol. 15, Num. 77, Pp. 79-84

AMARO-GONZALEZ D., TROMPETTE J.L., BISCANS B.
Agglomération sphérique lors de la cristallisation d'un principe actif pharmaceutique : sélection d'un agent liant selon le critère de mouillage préférentiel
Comm. 3ème Colloque Science et Technologie des Poudres, NANCY (France), 03-04.04.01

BORDES C., GARCIA F., FRANCES C., SNABRE P.
Suivi en ligne de la taille de particules lors d'un procédé de broyage en voie humide de suspensions concentrées
Comm. 3ème Colloque Science et Technologie des Poudres, NANCY (France), 03-04.04.01

GARCIA F., LE BOLAY N., FRANCES C.
Physical and flow properties of dense aggregated suspensions
Comm. 7th International Symposium on Agglomeration, ALBI (France), 29-31.05.01, Vol. 1, Pp. 729-738

MOLINA BOISSEAU S., LE BOLAY N.
Caractérisation des propriétés physico-chimiques de polymères broyés dans un broyeur vibrant à billes
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 77, Pp. 299-304

DURAND-BOURLIER L., GLUCINA K., BAUDIN I., APTEL P.,
State of the art and new opportunities for membranes (MF, UF, NF, RO) in municipal water treatment
Comm. Symposium International Les Frontières de la Gestion de l\'Eau Urbaine : Impasse ou Espoir, UNESCO, MARSEILLE (France), 18-20.06.01

RADOUANE K., DESPAX B., COUDERC J.P., YOUSFI M., KLUSMANN E., MEYER H., SCHULZ R., SCHULZE J.
Analysis of geometry effects in an industrial plasma reactor
Comm. 13ème Congrès International sur les Procédés Plasma, ANTIBES (France), 19.06.01

GEVRIN F., MASBERNAT O., SIMONIN O.
Granular pressure and particle velocity fluctuation predictions in solid-liquid fluidized beds
Comm. 4th International Conference on Multiphase Flows ECMF\'01, NEW ORLEANS (Etats-Unis), 27.06-01.07.01

DANIEL C., LEGENDRE D., GUIRAUD P.
Etude numérique du mouvement de particules en canal chicane
Comm. XVème Congrès Français de Mécanique, NANCY (France), 03-07.09.01

RADOUANE K., DESPAX B., YOUSFI M., COUDERC J.P.
Two dimensional electrical modelling and experimental diagnostics of RF discharges in hydrogen
Comm. ISPC\'15, ORLEANS (France), 15.07.01

GUIGUI C., BONNELYE V., DURAND-BOURLIER L., ABIDINE N., ROUCH J.C., APTEL P.
A novel approach for the ultrafiltration of surface water : combination of coagulation and Dean vortices in a feed-and-bleed process configuration
Comm. Membranes Technology Conference AWWA-IWA, SAN ANTONIO (Etats-Unis), 04-07.03.01

AL-AKOUM O., DIGN L., JAFFRIN M.Y., MERCIER-BONIN M., FONADE C., APTEL P.
Filtration dynamique et écoulements insta-tionnaires : caractérisation hydrodynamique
Comm. 6ème Colloque PROSETIA, VERSAILLES (France), 19-21.03.01

BALANNEC B., LE BRETON J.F., RABILLER-BAUDRY M., CHAUFER B., GESAN-GUIZIOU G., GUILLEVIC S., BOYAVAL E., DAUFIN G., SEGONDS S., BEQUET S., REMIGY J.C., APTEL P.
Valorisation des eaux de procédés de l'industrie laitière. Séparation-concentration des composants du lait et production d'eau réutilisable par osmose inverse ou nanofiltration
Comm. 6ème Colloque PROSETIA, VERSAILLES (France), 19-21.03.01

ROUX DE BALMANN H., RABILLER BAUDRY M., BALANNEC B., CHAUFER B.
Influence de la physico-chimie sur la rétention d'acides organiques en nanofiltration
Comm. 6ème colloque Prosetia, VERSAILLES (France), 19-21.03.01

ROUX DE BALMANN H., BAILLY M., CARRERE H., LUTIN F., AIMAR P.
Procédés de production d'acides organiques : couplage d'opérations membranaires pour réduire l'impact sur l'environnement
Comm. 6ème colloque Prosetia, VERSAILLES (France), 19-21.03.01

BEQUET S., CLIFTON M.J., REMIGY J.C., APTEL P.
Nanofiltration for water softening: modelling for residential applications
Comm. Engineering with Membranes, GRENADE (Espagne), 03-06.06.01

BEQUET S., REMIGY J.C., ESPENAN J.M., RICARD A., APTEL P.
Nouveau procédé de fabrication de fibres creuses de nanofiltration : photogreffage en continu
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 88, Pp. 153-166

AKBARI A., BEQUET S., REMIGY J.C., APTEL P.
Nouvelles membranes de nanofiltration : élaboration, mécanisme de transport et application au traitement des effluents de teinturerie
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 86, Pp. 27-34

CLIFTON M.J., BEQUET S., REMIGY J.C., APTEL P.
Nanofiltration pour l'adoucissement et la rétention de matières organiques : modélisation pour une application domestique
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 81, Pp. 91-98

ROUX DE BALMANN H., BAILLY M., CARRERE H., LUTIN F., AIMAR P.
Production of organic acids from fermentation broth- process design targeted around electromembrane operations
Conf. 3rd European Congress on Chemical Engineering, NUREMBERG (Allemagne), 26-28.06.01

GALIER S., ROUX DE BALMANN H.,
Conception and study of an electrophoretic separation process using a porous membrane as a contactor
Conf. 3rd European Congress on Chemical Engineering, NUREMBERG (Allemagne), 26-28.06.01

ROUX-de BALMANN H., BAILLY M., LUTIN F., AIMAR P.
Dimensionnement d'opérations électro-membranaires pour la production d'acides organiques alimentaires
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 81, Pp. 275-281

MEIRELES M., LAVOUTE E.
Model for cross flow filtration of microbial suspensions in a porous tube
Comm. 4th International Conference on Multiphase Flows ECMF\'01, NEW ORLEANS (Etats-Unis), 27.06-01.07.01

MEIRELES M., CABANE B., LELIEVRE V., PIGNON F., MAGNIN A.
Investigations of cake structure by in-situ physical investigations
Comm. 14th National Meeting of the American filtration society, TAMPA (USA), 01-04.05.01

KIAMBI S.L., DUQUENNE A.M., BASCOUL A., DELMAS H.
Répartition de l'aire interfaciale en réacteur airlift à boucle externe : mesures par bisonde à fibre optique
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01

NIETO J.P., CAUSSAT B., COUDERC J.P., ORAIN L., JEANNEROT L.
Atmospheric pressure chemical vapor deposition of BPSG films from TEOS, 03, TMB, TMPi ; determination of a chemical mechanism
Comm. EUROCVD13, Glyfada, Athens, 26—31.08.2001

2002

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., DAVIN A., PIBOULEAU L, DOMENECH S.
A global optimization technique for solid-liquid equilibrium: Application to calcium phosphate precipitation
Comm. ESCAPE 12, The Hague (The Netherlands), 26-29.05.02, Pp. 127-133

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., CABASSUD M., BISCANS B.
Calcium phosphate precipitation in a pellet reactor
Proceedings of the 15th International Symposium on Industrial Crystallization , Sorrento (Italie)sept 2002. Chemical Engineering Transactions (ISBN 88-900775-0-6), Vol III, 2002, 1251-1256

DUMAS M., CARVIN P ., BISCANS
Characterization of liquid inclusions formed in industrial crystals
Proceedings of the 15th International Symposium on Industrial Crystallization , Sorrento (Italie)sept 2002. Chemical Engineering Transactions (ISBN 88-900775-0-6) Vol II, 2002, 713-718

BORDES C., SNABRE P., FRANCES C., BISCANS B.
Depletion flocculation kinetics in concentrated latex suspensions in a Couette flow system
Proceedings of the 15th International Symposium on Industrial Crystallization , Sorrento (Italie)sept 2002. Chemical Engineering Transactions (ISBN 88-900775-0-6), Vol II, 2002, 731-736.

GARCIA F., LE BOLAY N., FRANCES C.
Breakage behaviour of calcium carbonate in a stirred bead mill
Comm. World Congress on Powder Technology 4, SYDNEY (Australie), 01.07.02, Num. 91

LE BOLAY N., PERUZZI M., MAZZAROTTA B.
Kinetic study of poly(vinyl acetate) - calcium carbonate co-grinding in a ball mill
Comm. 4th World Congress on Particle Technology, SYDNEY (Australie), CD Rom du congrès, Num. 269, ISBN 0858257947, 21-25.07.02

Département Génie des Interfaces et Milieux Divisés (GIMD)

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
A design of experiments for uncertainty on calcium phosphate precipitation
Comm. SIMO 2002 \"Systèmes d'information, Modélisation, Optimisation, Commande en Génie des Procédés\", TOULOUSE (France), 24-25.10.02

ALAVI S., CAUSSAT B., COUDERC J.P., DEXPERT-GYS J., JOFFIN N., NEUMEYER D., VERELST M.
Spray pyrolysis syntesis of submicronic particles. Possibilities and limts
Comm. CIMTEC 2002, Florence, du 16.10. 02

COCHETEAU V., CAUSSAT B., BLANQUET E., DONNADIEU P., SCHOULER M.C., PONS M., SCHEID E., MUR P., SEMERIA M.N.
Elaboration de nanocristaux de silicium par LPCVD : analyse expérimentale et théorique des phénomènes
Comm. Colloque Matériaux, Tours, France, 21-25.10.02

MEIRELES M., CLIFTON M.J., AIMAR P.
Filtration of yeast suspensions: experimental observations and modelling of dead-end filtration with a compressible cake
Comm. ICOM 2002, TOULOUSE (France), 7-12.07.02

S. GALIER, H. ROUX-de BALMANN
Influence des interactions électrostatiques sur le transfert de matière dans un contacteur électrophorétique à membrane
Comm. 7iéme Colloque PROSETIA, Compiègne, 19-20 Mars 2002

A. BOUCHOUX, H. ROUX-de BALMANN, F. LUTIN
Intégration de la nanofiltration dans les procédés de production d'acides organiques alimentaires
Comm. 7iéme Colloque PROSETIA, Compiègne, 19-20 Mars 2002

GALIER S., ROUX DE BALMANN H.
Influence of electrostatic interactions in electrophoretic membrane contactors
Comm. ICOM 2002, TOULOUSE (France), 7-12.07.02

ROUX DE BALMANN H., BAILLY M., LUTIN F., AIMAR P.
Modelling of the conversion of weak organic acids by bipolar membrane electrodialysis
Comm. ICOM 2002, TOULOUSE (France), 7-12.07.02

PIERRE F.X. Pierre, SOUCHON I., ROUCH J.C., MARIN M., REMIGY J.C.
Les contacteurs à membranes pour le traitement d'effluents odorants : conception et mise en oeuvre.
Comm. 7iéme Colloque PROSETIA, Compiègne, 19-20 Mars 2002

BEQUET S., AKHBARI .A., REMIGY J.-C., VOURCH M., CHAUFER B., RABILLER-BAUDRY M., BALANNEC B.
Membrane d'ultrafiltration greffée sulfonate : influence sur la rétention et le colmatage.
Comm. 7iéme Colloque PROSETIA, Compiègne, 19-20 Mars 2002

BEQUET S., REMIGY J.C., ROUCH J.C., ESPENAN J.M., CLIFTON M.J., APTEL P.
From ultrafiltration to nanofiltration hollow fibres: a continuous UV-photografting process
Comm. ICOM 2002, TOULOUSE (France), 7-12.07.02

CAUSSERAND C., AIMAR P., VILANI C., ZAMBELLI T
Study of the effects of defects in ultrafiltration membranes on water flux and molecular weight cut-off
Comm. ICOM 2002, TOULOUSE (France), 7-12.07.02

2003

BOUCHOUX A., ROUX DE BALMANN H., LUTIN F.
Etude de la nanofiltration pour son introduction dans un procédé de production d'acides organiques
Comm. 8ème Colloque Prosetia, RENNES (France), 19-20.03.03

BOUCHOUX A., ROUX DE BALMANN H., LUTIN F.
Evaluation de la nanofiltration pour son intégration dans un procédé de production d'acides organiques reposant sur une étape d'électrodialyse à membranes bipolaires
Colloque MemPro2 "Intégration des membranes dans les procédés",Montpellier, 14-16 Mai 2003

ESPINASSE P., BACCHIN P., AIMAR P.
Détermination du flux critique : un outil pour la maîtrise du colmatage ?
Récents progrès en génie des procédés, 2003, 1166-7478, Vol. 89, Pp. 483-490

GALIER S., ROUX-de BALMANN H
Influence des interactions électrostatiques dans un procédé électrophorétique utilisant une membrane poreuse comme contacteur
Comm. 9ème Congrès SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 9-11.09.03

CAUSSERAND C., AIMAR P., ROQUES C.
Evaluation de la rétention bactérienne par des membranes
Colloque MemPro2 "Intégration des membranes dans les procédés",Montpellier, 14-16 Mai 2003

ROUAIX S., CAUSSERAND C., AIMAR P., APTEL P.
Improvement of a method for the characterization of ultrafiltration membranes by measurements of tracers retention
Comm. IMSTEC 03, New South Wales, Sydney, AUSTRALIE 11-03

ESPINASSE B., BACCHIN P., AIMAR P.
Détermination du flux critique : un outil pour la maîtrise du colmatage?
Colloque MemPro2 "Intégration des membranes dans les procédés",Montpellier, 14-16 Mai 2003

TEYCHENE S, BISCANS B.
Détermination des diagrammes de phases d'un principe actif pharmaceutique.
9ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Saint Nazaire 9-11 Septembre 2003.dans Récents Progrés en Génie des Procédés, coord. par J. Legrand,
Paris, Lavoisier, 2003, vol. , n° 90, pp.

CABANES F., MONTASTRUC L., FRECHE M., LACOUT J.L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B.
Valorisation des phosphates dans les effluents par précipitation
Comm. Cristallisation et Précipitation Industrielle, CRISTAL 2, TOULOUSE (France), 12-13.11.03

DUMAS M., CARVIN P., BISCANS B.
Nature et origine des inclusions dans un procédé de cristallisation d'un produit organique
Comm. Cristallisaion et Précipitation Industrielle, CRISTAL 2, TOULOUSE (France), 12-13.11.03

TEYCHENE S., AUTRET J.M., BISCANS B.
Détermination des zones métastables des polymorphes de l'éflucimibe
Comm. Cristallisation et Précipitation Industrielle, CRISTAL 2, TOULOUSE (France), 12-13.11.03

LAUGIER F., BISCANS B., AIMAR P.
Premiers éléments d'évaluation des potentialités de la cristallisation dans une membrane
Comm. Cristallisation et Précipitation Industrielle, CRISTAL 2, TOULOUSE (France), 12-13.11.03

MONTASTRUC,L., AZZARO C., BISCANS B., CABASSUD M., DOMENECH S.,
A general framework for pellet reactor modeling : Application to P-Recovery,
9ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés,(ISBN 2-910239-64-0) Saint Nazaire 9-11 Septembre 2003.

ZAPATA C., FRANCES C., LE BOLAY N.
Utilisation de la caractérisation morphologique des particules dans la détermination de la cinétique de synthèse des matériaux composites par co-broyage en voie sèche
Comm. De la poudre au matériau massif, ALBI (France), 3-5.06.03

ZAPATA C., FRANCES C., LE BOLAY N., MOLINA-BOISSEAU S.
Production de fines particules de composites par co-broyage dans un broyeur à corps broyants – Caractérisation des propriétés granulométriques et mécaniques
Comm. 9ème Congrès SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 9-11.09.03, Vol. 90

KILBEY G., DELIA M-L., FRANCES C.
Etude de la fragmentation de cellules dans un broyeur à billes agité en vue de la récupération de produits intracellulaires
Comm. 9ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, SAINT-NAZAIRE (France), 9-11.09.03

TOUIL D., VELAADI S..FRANCES C.
Investigation of the breakage kinetics of cement clinker in a ball mill using power input
Comm. 4th European Congress of Chemical Engineering, ECCE4, GRANADA (Spain), 21-25.09.03

HEIM A., SOLECKI M., KILBEY G., DELIA M-L., FRANCES C.
Rheological properties of the suspension of disintegrated baker's yeast cells
Comm. 4th European Congress of Chemical Engineering, ECCE4, GRANADA (Spain), 21-25.09.03

ZAPATA C., LE BOLAY N.
De l'apport du co-broyage dans la synthèse de matériaux composites – caractérisation des mélanges par analyse morphologique
Comm. Journées thématiques du groupe de travail " Solides divisés " de la SFGP : Mélange, échantillonnage et distribution de temps de séjour, ALBI (France) 11-12.12.03

CORRIAS M., SERP P., CAUSSAT B., COUDERC J.P., KALCK P.
Fluidized bed catalytic CVD for the large scale production of multi-walled carbon nanotubes
Comm. CARBON 2003, OVIEDO (Espagne), 31.07.03

BLANQUET E., DONNADIEU P., SCHOULER M.C., SIMON J.P., MARET M., PONS M ., COCHETEAU V., CAUSSAT B., SCHEID E., MUR P., SEMERIA M.N.
Macroscopic and microscopic investigations on the fabrication of silicon nanodots on oxidised silicon
Comm. Congrès CVD XVI et EUROCVD14, Paris, 27.04-2.05.03

CAUSSAT B., SERP P ; VALHAS C.,
Fluidized bed chemical vapor deposition : state of the art and main challenges
Comm. EUROCVD14, Paris, 27.04-2.05.03

MORANCAIS A., CORRIAS M., SERP P., KALCK P., CAUSSAT B., BERNARD D.
Massive multi-wall carbon nanotubes production by fluidised bed catalytic chemical vapor deposition
Comm. 203ème Congrès Electrochemical Society, Paris, 27.04-2.05.03

2004

REUGE N., CAUSSAT B., JOFFIN N., DEXPERT J., VERELST M.
Modeling of micronic Y(NO3)3 particles formation by spray pyrolysis
Comm. PARTEC 2004, NUREMBERG (Germany), 15.03.04, p. 919

GARCIA F., FRANCES C.
Production of submicronic particle suspensions with well defined properties by a wet milling process
Comm. Symposium PARTEC2004, NUREMBERG (Germany), 16-18.03.04

ALAVI S., CAUSSAT B., HEMATI M., MARINO D., DE RICK A.
Different fluidization methods for fine powders
Comm. PARTEC 2004, NUREMBERG (Germany), 18.03.04, Pp. 3-6

ZAPATA C., MOLINA-BOISSEAU S., LE BOLAY N.
Synthèse par co-broyage de matériaux composites chargés de nanotubes de carbone
Comm. 4ème Colloque Science et Technologie des poudres, COMPIEGNE (France), 4-6.05.04, Vol. 91

ZAPATA C., NICAISE A., LE BOLAY N.
Caractérisation des propriétés physico-chimiques de nanotubes de carbone broyés
Comm. 4ème Colloque Science et Technologie des poudres, COMPIEGNE (France), 4-6.05.04

TOUIL D., BALAADI S., FRANCES C.
Analyse énergétique du broyage discontinu du clinker : approche couplée bilan de population-efficacité énergétiqueComm. 4ème Colloque Science et Technologie des Poudres, COMPIEGNE (France), 4-6.05.04

FRANCES C., ANNE ACHARD D.
Propriétés physiques de suspensions denses de particules submicroniques obtenues par nanobroyage en voie humide
Comm. 4ème Colloque Science et Technologie des Poudres, COMPIEGNE (France), 4-6.05.04

S. ALAVI S., CAUSSAT B.
Experimental study on fluidization of micronic powders
Comm. 4ème Colloque Science et Technologie des Poudres, COMPIEGNE (France), 4-6.05.04

TOURBIN M., SCHETRITE S., FRANCES C., BISCANS B.
Caractérisation des propriétés granulométriques et physico-chimiques de suspensions denses de silice colloidale
Comm. Colloque CRISTAL3 Cristallisation et Précipitation Industrielle, SAINT-ETIENNE (France), 24-25.11.04

TEYCHENE S ., AUTRET J.M., BISCANS B.
Influence des paramètres du procédé sur la cristallisation des polymorphes de l'eflucimibe
Actes du 4ème Colloque Science et Technologie des Poudres, Compiègne (France) Mai 2004

TEYCHENE S., AUTRET J.M., BISCANS B.
Influence des conditions de cristallisation sur l'état de structuration d'une suspension de cristaux de principe actif
Actes du Colloque de Cristallisation et Précipitation Industrielle, CRISTAL 3, Saint Etienne 24-25 Nov. 2004, pp 36-43

AMARO-GONZALEZ D.,BISCANS B.
Procédés d'élaboration de microsphères par cristallisation sphérique : influence des solvants et des conditions du procédé
Actes du Colloque de Cristallisation et Précipitation Industrielle, CRISTAL 3, Saint Etienne 24-25 Nov. 2004, pp 22-28

CABANES F.,.FRECHE M., LACOUT J.L., BISCANS B.
Dephosphatation des effluents par précipitation en lit fluidisé
Actes du Colloque de Cristallisation et Précipitation Industrielle, CRISTAL 3, Saint Etienne 24-25 Nov. 2004, pp 122-127

PIAUD B., BLANCO S., FOURNIER R., CLIFTON M-J.
Energy-conserving lattice Boltzmann thermal model in two dimensions
Comm. International Conference for Mesoscopic Methods in Engineering and Science, BRAUNSCHWEIG (Allemagne), 26-29.07.04

MENUT P., ROUCH J-C., REMIGY J-C.
Elaboration de contacteurs à membrane: fabrication de fibres hydrophobes en PVDF et PVDF-HFP
Comm. 9ème Colloque PROSETIA 2004, TOULOUSE (France), 22-23.03.04

K.BENMACHOU, M. MEIRELES, P.SCHMITZ
Modelling of particulate loading for cartridge liquid filtration
9th World Filtration Congress 2004, New Orleans (USA), 19-23 04l 2004

A.GRENIER, M. MEIRELES, P.AIMAR
A phenomenological approach to quantify comined mechanisms during microfiltration
9th World Filtration Congress 2004, New Orleans (USA), 19-23 04 2004

J.B. MADELINE, M.MEIRELES, B.CABANE
Which floc properties to better run a membrane filtration operation?
9th World Filtration Congress 2004, New Orleans (USA), 19-23 04 2004

ROUAIX S., CAUSSERAND C., AIMAR P.,
Study of hollow fiber membranes ageing due to chemical cleanings
9th World Filtration Congress 2004, New Orleans (USA), 19-23 04 2004

BOUCHOUX A., ROUX DE BALMANN H., LUTIN F.
Evaluation of nanofiltration for the purification of an organic acid fermentation broth
Comm. 9th World International Congress on Engineering and Food ICFE9, MONTPELLIER (France), 7-11.03.04

BOUCHOUX A., ROUX DE BALMANN H., VOURCH M., BALANNEC B., CHAUFER B, DORANGE G., LUTIN F.
Etude des mécanismes de sélectivité en nanofiltration en vue de l'intensification des procédés
Comm. 9ème Colloque PROSETIA 2004, TOULOUSE (France), 22-23.03.04

BOUCHOUX A., ROUX DE BALMANN H., LUTIN F.
Introduction of nanofiltration in a production process of fermented organic acids
Comm. 9th World Filtration Congress WCF9, NEW ORLEANS (USA),18-22.04.04

2005

CHAUFER B., ROUX DE BALMANN H., BOUCHOUX A., FROIDURE-LAHRER O., BALANNEC B., RABILLER-BAUDRY M.
Sélectivité de la nanofiltration pour l'intensification des procédés : mécanismes de rétention des sucres et des acides organiques
Comm. 10ème Colloque Prosetia, LILLE (France), 15-16.03.05

GASCONS VILLADOMAT F., ATHES V., MARIN M., SOUCHON I., REMIGY J.C., ROUCH J.C., MEIRELES M.
Relation Structure/Propriétés de transfert dans les contacteurs membranaires : Application à la séparation de composés d'arôme.
Comm. 10ème Colloque Prosetia, LILLE (France), 15-16.03.05

SINGLANDE E., ROUX DE BALMANN H.
Development of combined processes including electrodialysis for the management of salted wastes
Comm. WasteEng 2005, ALBI (France), 17-19.05.05

SINGLANDE E., ROUX DE BALMANN H.
Traitement d'effluents salins par des procédés intégrant l'électrodialyse et le traitement biologique
Comm. 10ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 21-25.09.05

ROUAIX S., CAUSSERAND C., AIMAR P.,
Etude de la dégradation de membranes d'ultrafiltration en polysulfone lors de lavages à l'hypochlorite de sodium
Comm. 10ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 21-25.09.05

PIAUD B., BLANCO S., FOURNIER R., CLIFTON M.J.
Lattice Boltzmann method for thermal fluid flows
Comm. 4th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, PARIS (France), 17-20.05.05

TOURBIN M., SCHETRITE S., BISCANS B., FRANCES C.
Aggregation of colloidal silica concentrated dispersions in flow
Comm. 7th World Congress of Chemical Engineering SECC, GLASGOW (UK), 10-14.07.05

TOURBIN M., SCHETRITE S., FRANCES C., BISCANS B.
Agrégation de dispersions concentrées de silice colloïdale sous écoulement
Comm. 10ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 21-25.09.05

Département Génie des Interfaces et Milieux Divisés (GIMD)

TEYCHENE S., AUTRET J.M., BISCANS B.
Influence of crystallization conditions on the rheology and the microstructure of dense suspensions of crystals of eflucimibe
Proceedings of the 16th International Symposium on Industrial Crystallization, (ISBN 3-18-091901-9), Dresde, 11-14 Sept. 2005 , pp 623-628

CABANES F., FRECHE M., LACOUT J.L.,BISCANS B.
Calcium Phosphate precipitation in fluidized bed: recovery of phosphates from an effluent in a form Suitable for use by the phosphate industry
Proceedings of the 16th International Symposium on Industrial Crystallization, (ISBN 3-18-091901-9),Dresde, 11-14 Sept. 2005 , pp 535-540

ZAPATA C., MOLINA-BOISSEAU S., LE BOLAY N.
Influence of agglomeration on surface and mechanical properties of co-ground polymer – carbon nanotubes composites
Comm. 8th International Symposium on Agglomeration, BANGKOK (Thailand), 16-18.03.05

JAOUEN L., SCHEID E., VERGNES H., CAUSSAT B.
Multiscale modelling of low pressure chemical vapor deposition in situ boron doped silicon films from silane and boron trichloride in deep trenches
Comm. EUROCVD 15, Bochum, 09.05

COCHETEAU V., CAUSSAT B., MUR P., SCHEID E., DONNADIEU P., BILLON T.
LPCVD synthesis of silicon nanodots from silane and disilane for flash memory devices
Comm. EUROCVD 15, Bochum, 09.05

VAHLAS C., CAUSSAT B., SENOCQ F., GLADFELTER W-L., SARANTOPOULOS C., TORO D., MOERCH T.
Fluidized bed as a solid precursor delivery system in a chemical vapor deposition reactor
Comm. EUROCVD 15, Bochum, 09.05

COMMUNICATIONS SANS ACTES

2001

CLIFTON M.J.
Electrophorèse à écoulement continu en microgravité
Comm. 1er Atelier Electrochimie et Espace, TOULOUSE (France), 07-08.03.01

ROUX DE BALMANN H.
Conversion de sels d'acides organiques par électrodialyse
Comm. 2ème journée thématique FERMAT, TOULOUSE (France), 23.04.01

CAUSSERAND C.
Désinfection par membranes : efficacité et limitations
Comm. Traitement des eaux et effluents liquides-industries alimentaires, PARIS (France), 30.05.01

2003

DESPORTES S., ALAVI S., STEINMETZ D., HEMATI M., PHILIPPOT K., CHAUDRET B.
Enrobage de particules poreuses en lit fluidisé: une nouvelle technique de préparation de catalyseurs supportés usuels et à base de nanoparticules
Comm. Etat de l'art en fonctionnalisation des poudres, NANTES (France), 13-14.05.03

DENIS C., HEMATI M., CHULIA D., LANNE J-Y.
Pelliculage des comprimés pharmaceutiques en tambour rotatif : Approche expérimentale, transposition industrielle et modélisation
Comm. Etat de l'art en fonctionnalisation des poudres, NANTES (France), 13-14.05.03

DESPORTES S., AURIOL M., STEINMETZ D., HÉMATI M., PHILIPPOT K., CHAUDRET B.
Preparation of supported nanocatalysts by direct impregnation in a fluidized bed: effect process parameters on the textural propertie
Comm. NANOMAT 2, CEMES, TOULOUSE (France), 15-16.05.03

JUAREZ F., CAUSSAT B., VAHLAS C.
Fluidisation de poudres de NiCoCrAlYTa dans un lit à jet
Comm. De la poudre au matériau massif, ALBI (France), 03-05.06.03

DESPORTES S. , AURIOL M . , STEINMETZ D. , HEMATI M., PHILIPPOT K. , CHAUDRET B.
Préparation de catalyseurs supportés par imprégnation directe en lit fluidisé : Influence des paramètres du procédé sur les propriétés texturales du solide
Comm. De la poudre au matériaux massif, ALBI (France), 03-05.06.03

TEYCHENE S., AUTRET J.M., BISCANS B.
Determination of drug solubilities in solvent mixtures
6th International Workshop on Crystal Growth of Organic Materials 17-21 Aout 2003

DE FRAGA MALFATTI C., ZOPPAS FEREIRA J., VAILLANT S., BACCHIN P., BONINO J.P.
Influencia do tamanho das particulas de SiC na eletrodeposiçao de reverstimentos compositos NIP/SiC
EBRATS 2003, Sao Paolo, Brésil, 12-15 Mai 2003

K.BENMACHOU, P.SCHMITZ, M. MEIRELES
Modélisation de la filtration d'un liquide à travers un milieu fibreux
Journées d'études sur les Milieux Poreux, Toulouse (2003), 12 –13 novembre 2003

J.B. MADELINE, M. MEIRELES, B.CABANE
Understanding why and how aggregates can undergo restructuring upon filtration
14th Annual Meeting, North American Membrane Society 2003, Jackson Hole, (WY) USA 17-21.05. 2003

ROUAIX S., CAUSSERAND C., AIMAR P., APTEL P.
Amélioration des techniques de caractérisation par rétention de traceurs pour le suivi de l'intégrité des membranes d'ultrafiltration
Comm. 9ème Congrès SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 9-11.09.03

CAUSSERAND C., AIMAR P., CRAVEDI J.P., SINGLANDE E.
Evaluation de la rétention de polluants chimiques par des membranes de filtration
Comm. 5° Congrès GRUTTEE , Paris 09.03

REMIGY J.C., ESPENAN J.M.
Développement de membranes de nanofiltration par photogreffage : premiers résultats en traitement des eaux potables et d'effluents de teinturerie..
Colloque MemPro2 "Intégration des membranes dans les procédés",Montpellier, 14-16 Mai 2003

BACCHIN P., AIMAR P.
How can we make use of the osmotic pressure for colloidal suspension in modeling processes ?
Comm. North American Membrane Society NAMS 2003, JACKSON HOLE, WY (USA), 19-21.05.03

2004

DESPORTES S., STEINMETZ D., HEMATI M., PHILIPPOT K., CHAUDRET B.
Elaboration of supported asymmetric catalysts in fluidised bed
Comm. Congrès Partec 2004, NUREMBERG (Germany), 15-16.03.04

DESPORTES S., STEINMETZ D., HEMATI M., PHILIPPOT K., CHAUDRET B.
Elaboration de catalyseurs asymétriques supportés à base de nanoparticules métalliques et d'un ligand asymétrique en lit fluidisé
Comm. Récents Progrès en Génie des Procédés, Science et Technologie des Poudres, COMPIEGNE (France), 04-06.05.04

FRANCES C.
Modélisation des phénomènes affectant les distributions – Processus de rupture de particules solides et d'agrégats
Conf. 5ème Journée Thématique FERMaT : Bilan de Population, TOULOUSE (France), 07.07.04

MAXEY M.R., LIU D., KARNIADAKIS G.E., CLIMENT E.
Self-assembled particle structures for microflow systems
Comm. 5th International Conference on Multiphase Flow, YOKOHAMA (Japan), 30.05-04.06.04

CLIMENT E., MAXEY M.R.
Sedimentation and instability of bidisperse suspensions
Comm. 5th International Conference on Multiphase Flow, YOKOHAMA (Japan), 30.05-04.06.04

BONINO J.P., VAILLANT S., MARTIN F., BACCHIN P., ALEXIS J.
Composite Coatings with Talc Particles
Comm. Vth International Colloquium on Chromium Plating, SAINT ETIENNE (France), 24-27.05.04

BONINO J.P., BARES P., FERRET J., VAILLANT S., MARTIN F., BACCHIN P., ALEXIS J.
Un procédé conventionnel pour de nouveaux matériaux : les revêtements composites métal.particules
Comm. SURFAIR 2004, TOULOUSE (France), 8-10.06.04

BESSIERE Y., BACCHIN P., ABIDINE N.
Fouling tests to define critical conditions in dead-end filtration: towards sustainable operations
Comm. Membranes in Drinking and Industrial Water Production 2004, L'AQUILA (Italie), 15-17.11.04

BESSIERE Y., BACCHIN P.
Dead-end filtration: experimental evidence for a critical filtered volume
Comm. Fouling and Critical Flux 2004, LAPPEENRANTA (Finlande), 16-18.06.04

BACCHIN P., AIMAR P.
From critical phase transition to critical flux via critical osmotic pressure and critical Peclet number
Comm. Fouling and Critical Flux 2004, LAPPEENRANTA (Finlande), 16-18.06.04

ROUAIX S., CAUSSERAND C., AIMAR P.,
Kinetics of degradation of polysulfone membranes due to hypochlorite cleaning
Comm Congrès "Membranes in drinking and industrial water production" l'Aquila, ITALIE 11.04

MENUT P., ROUCH J-C., REMIGY J-C.
Elaboration de contacteurs à membrane: fabrication de fibres hydrophobes en PVDF et PVDF-HFP
Comm. 9ème Colloque PROSETIA 2004, TOULOUSE (France), 22-23.03.04

QUEZADA L., A.A., GHOGHOMU J. N., REMIGY J.C., APTEL P.
Removal of Natural Organic Matter from Natural Water By Modified Nanofiltration Hollow Fibres. in
4th World Water Congress. 2004. Marrakech, Morocco.

LAMOUROUX E., DESPORTES S., KALCK P., SERP P., CHAUDRET B., HEMATI M., KHIN Y.
Effect of catalyst preparation on single wall carbon nanotubes growth by catalytic CVD
Comm. 4th meeting NanoteC 04.1st GDR-E meeting, BATZ-SUR-MER (France), 10-15.10.04

COCHETEAU V., CAUSSAT B., MUR P., SCHEID E., DONNADIEU P., BILLON T.
LPCVD fabrication of silicon nanocrystals for flash memory devices
Comm. Journées Nanosciences Nanotechnologies de la Région Rhône-Alpes JNN2004, GRENOBLE (France), 24-25.11.04

LAMOUROUX E., DESPORTES S., KALCK P., SERP P., CHAUDRET B., HEMATI M., KHIN Y.
Effet de la préparation du catalyseur sur la croissance de nanotubes de carbone monofeuillet par dépôt chimique en phase vapeur catalytique
Comm. Société Française de Chimie – section– section Midi-Pyrénées (C304), 14ème Journée Chimie Grand Sud-Ouest, TOULOUSE (France), 26.11.04

2005

BENALI M., HEMATI M., GERBAUD V., STEINMETZ D.
Wet granulation in high shear mixer: Effects of process-related variables and physico-chemical properties on the granule growth
Comm. 8th International Symposium on Agglomeration, BANGKOK (Thailand), 16-18.03.05

PETIT G., HEMATI M., SIMONIN O., ANDREUX R.
Comm. 8th International Conference on Circulating Fluidized Bed (CFB 8), HANGZHOU (China), 10-13.05.05

SARANTOPOULOS C., TORO D., MOERCH T., VAHLAS C., CAUSSAT B., SENOCQ F., GLADFELTER W-L.
Production of vapors of solid compounds by sublimation in a fluidsed bed
Comm. 5th Pan-Hellenic Chemical Engineering Congress, THESSALONIQUE (Grèce), 30.05.05

JAOUEN L., SCHEID E., VERGNES H., CAUSSAT B.
Modélisation multi-échelles du comblement par LPCVD de tranchées profondes pour la fabrication de nouveaux composants de puissance
Comm. SFGP 2005, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

JAOUEN L., SCHEID E., VERGNES H., CAUSSAT B.
Multiscale modelling of low pressure chemical vapor deposition in situ boron doped silicon films from silane and boron trichloride in deep trenches
Comm. EUROCVD 15, BOCHUM, 09.05

COCHETEAU V., CAUSSAT B., MUR P., SCHEID E., DONNADIEU P., BILLON T.
LPCVD synthesis of silicon nanodots from silane and disilane for flash memory devices
Comm. EUROCVD 15, BOCHUM, 09.05

VAHLAS C., CAUSSAT B., SENOCQ F., GLADFELTER W-L., SARANTOPOULOS C., TORO D., MOERCH T.
Fluidized bed as a solid precursor delivery system in a chemical vapor deposition reactor
Comm. EUROCVD 15, BOCHUM, 09.05

TOURBIN M., SCHETRITE S., BISCANS B., FRANCES C.
Caractérisation de suspensions concentrées de nanoparticules par diffusion dynamique de la lumière et spectroscopie acoustique
Comm. Albi International Rencontres in Pharmaceutical Engineering AIRPE04, 13-14.10.0

PIAUD B., BLANCO S., FOURNIER R., CLIFTON M.J.
Approche mésoscopique des fluides complexes
Comm. 10ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 21-25.09.05

C. CAUSSERAND, M.J. CLIFTON, P. AIMAR
Détermination de la distribution de tailles de pores d'une membrane d'ultrafiltration, Comm. 10ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 21-25.09.05

CAUSSERAND C., ROUAIX S., AIMAR P.,
Kinetics of degradation of polysulfone membranes in relation to cleaning conditions using chlorine
Comm. Congrès ICOM 2005, Seoul, KOREA, 21-26.08.05

GAUDICHET E., ROUAIX S., THOMINETTE F., CAUSSERAND C., VERDU J.
Ageing of polysulfone ultrafiltration membranes in hypochlorite treatment
Comm. Congrès ICOM 2005, Seoul, KOREA, 21-26.08.05

MEIRELES M., REMIGY J.C., ROUCH J.C., QUESADA L.,.
X-ray tomography : a tool for membrane engineering?
ICOM 2005. SEOUL, Korea, 2005.

GOMA-BILONGO T., CLIFTON M., REMIGY JC .
Abatement of water hardness by nanofiltration hollow fibers produced by surface grafting.
ICOM 2005. SEOUL, Korea, 2005.

GALIER S., ROUX-de BALMANN H.
Séparation de protéines du lactosérum dans un contacteur électrophorétique à membrane- influence du pH et de la membrane
Comm. 10ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 21-25.09.05

CONFERENCES INVITEES

2001

APTEL P.
Les techniques de potabilisation. Débat sur la politique de l'eau
Conf. Conseil Régional de Midi-Pyrénées, TOULOUSE (France), 18.01.01

BISCANS B.
Preparation of microspheres by emulsion solvent diffusion and spherical agglomeration
Conf. 11th Annual Meeting of the Association for Crystallization Technology, CHICAGO (Etats-Unis), 01-04.04.01

VAHLAS C., JUAREZ F., FEURER R., SERP P., CAUSSAT B.
Chemical vapor deposition on fluidized particles. Application to the metalorganic CVD platinum group metals
Conf. Asian-CVD2 (Second Asian Conference on Chemical Vapor Deposition), KYONG JU (Corée), 28-31.05.01

ROUX DE BALMANN H.
Production d'acides organiques, nouveaux procédés intégrant des opérations électromembranaires
Conf. Euroforum, PARIS (France), 16.06.01

APTEL P.
Le traitement des eaux potables par les procédés à membranes : la situation en France et dans le monde
Conf. Colloque Maroco-Français. Traitement des eaux par membranes, RABAT (Maroc), 13.10.01

ROUX DE BALMANN H.
Bipolar membrane electrodialysis
Conf. Int. Workshop Water desalination using membranes, TOULOUSE (France), 26-27.11.01

AIMAR P.
Application des membranes dialysantes dans le domaine agroalimentaire
1er Congrès sur les pratiques de la dialyse, Toulouse (France), 15-16.11.2001

2002

APTEL P.,
Les procédés à membranes en traitement des eaux. Nouvelles tendances
4ème Symposium International de l'Eau, Cannes 5-7 Juin 2002

FRANCES C.
Comment élaborer des suspensions microniques à propriétés contrôlées par broyage en voie humide ?
Conf. EUROFORUM : le broyage et la classification de vos micro-particules, 22-23.01.02

BISCANS B.
Crystalization and Precipitation in solution: trends of the research
Conf. Cycle de Conférence au Centre de Production Pharmaceutique de la Havane, LA HAVANE (Cuba), 04.07.02

ROUX DE BALMANN H.
Traitement d'effluents industriels
Conf. Réseau Régional Recherche et Technologique Midi-Pyrénées, CASTRES (France), 15.07.02

BISCANS B.
Preparation of microspheres by spherical crystallization: impact of solvents and process conditions
Conf. Séminaire Sympocrist du Groupe Français de Croissance Cristalline, MARSEILLE (France), 12.09.02

Département Génie des Interfaces et Milieux Divisés (GIMD)

CAUSSAT B., SERP P.
Vers une production massive de nanotubes de carbone par le procédé de CVD en lit fluidisé
Conf. Colloque annuel du GdR Nanotubes, LA GRANDE MOTTE (France), 14-16.10.02

CAUSSAT B.
Modélisation des procédés CVD pour la microélectronique : état de l'art, verrous et perspectives
Conf. Colloque Matériaux, TOURS (France), 21-25.10.02

CAUSSAT B.
Nanomatériaux, nanosystèmes et génie des procédés
Journée Nanomat, CEMES, TOULOUSE, 1.10.02

2003

ROUX DE BALMANN H.
Procédés Electromembranaires
Conf. CPE, LYON (France),16.03.03

BISCANS B.
Développement intégré de procédés de génération et de mise en oeuvre de nanoparticules
Conf. Société Pierre Fabre, LABEGE (France), 31.05.03

AIMAR P.
A one-euro model for critical flux from critical to sustainable flux,
Oxford Workshop, 14-16.09.2003

AIMAR P.
Protein fractionation by cascade ultrafiltration
BERN Symposium, Plenary lecture, Imperial College, London, 17.09.2003

AIMAR P.
La place des membranes dans les procédés de séparation
Conférence introductive, 9ième Congrès SFGP, Saint Nazaire (France) 9-11.09.2003

AIMAR P., BACCHIN P.
Modelling critical flux
International Workshop on critical flux and fouling control Sydney (Australie), 10.11.2003

AIMAR P.
Recent progress in understanding particles fouling of filtration membranes
Keynote lecture, IMSTEC'03, Sydney (Australie), 11-14.11.2003

2004

GALIER S.
Contacteurs Electrophorétiques à Membrane
Conf. MONTPELLIER (France), 17-19.03.04

BISCANS B.
Cristallisation sphérique par le procédé de double émulsion
Conférence invitée dans la Société Pierre Fabre Iberia, Barcelone, 01-2004

FRANCES C., ANNE ACHARD D.
Propriétés physiques de suspensions denses de particules submicroniques obtenues par nanobroyage en voie humide
Conf. Conférence Malvern : Caractérisation des systèmes dispersés par granulométrie et rhéologie, TOULOUSE (France), 08.06.04

ROUX DE BALMANN H.
Nanofiltration
Conf. Journée sur les technologies membranaires - Alpha Laval, MONTPELLIER (France), 16.09.04

CAUSSAT B.
Elaboration de nanocristaux de silicium par LPCVD : analyse expérimentale et modélisation des phénomènes
Conf. GdR CNRS TEMPPS, TOULOUSE, 2.06.04

AIMAR P.
Some kinetics aspects in the concept of critical flux
Fouling and critical flux; theory and applications, Lappeenranta (Finlande), 16-18.06.2004

2005

BISCANS B .
Particle generation processes : the new challenges of crystallization research
Conférence invitée pour un séminaire du groupe GlaxoSmithKline, Stevenage (Angleterre) 06-2005

CAUSSAT B.
Nanomatériaux et procédés
Conf. Journée Nanomatériaux du CS de l'UPS, TOULOUSE (France), 3.03.05

REMIGY J.C., MEIRELES.M.
Microtomographie à rayon X pour la caractérisation de la porosité et la représentation 3D de membranes.
CLUB FRANCAIS DES MEMBRANES. 2005. Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris, FRANCE.

M. MEIRELES
The role of interparticle forces in colloidal aggregates: local investigations and modelling of restructuring during filtration
Keynote Lecture, Particle Separation Conference 2005, Specialist group of the International Water Association (IWA), Seoul, (Korea) June 1-3rd 2005

AIMAR P.
Slow colloidal aggregation in processes
17ième European conference on Interfacial Chemistry, 27.6-1.7.2005, Loughborough (UK)

AIMAR P., BACCHIN P.
Some fouling phenomena during membrane filtration of colloidal suspensions
Keynote lecture, ICOM05, Séoul (Corée) 21-26.08.2005

BREVETS

2002

AIMAR P., BACCHIN P., BRAMAUD C., JAUFFRET H., RIGAUD C.
Process for depleting monovalent cations from a water intended for nutritional purposes
US2002144948, US20010021498 20011219, Compagnie Gervais Danone, 10.10.02

BONINO J-P., BACCHIN P., MARTIN F.
Matériau composite utilisable comme revêtement lubrifiant
CNRS, 215507, 09.12.02

DESCLAUX S., APTEL P., RICARD A., REMIGY J-C.
Method for making a nanofiltration membrane, and resulting membrane
US 2002161066, W00196004, FR2810259, 2002

2004

VAILLANT STEPHANE (FR), BACCHIN PATRICE (FR), FERRAGE ERIC (FR), MARTIN FRANCOIS (FR), VAUTRIN WILLIAM (FR), BARTHES PHILIPPE (FR), BONINO JEAN-PIERRE (FR)
Composite material consisting of a metal matrix and talc
CNRS, W02004063428, 29.07.04

VAHLAS C., SENOCQ F., CAUSSAT B., GLADFELTER W.
Sublimateur de précurseurs solides en lit fluidisé pour des procédés de dépôts chimiques en phase vapeur
CNRS, 452817, 30.11.04

2005

ALAVI S., MOLINIER M., CAUSSAT B.
Procédé de traitement thermique de poudres microniques luminophores en lit fluidisé active, soit par ajout de poudres du groupe B de Geldart, soit par mise en vibrations de la colonne CNRS, FR 0505127, 23.05.05

ARTICLES DE REVUES

2001

BEJAN D., SAVALL A.
Electrochemical oxidation of p-methoxytoluene in acetic acid saturated by molecular oxygen
Journal of Electroanalytical Chemistry, 2001, Vol. 507, Pp. 234-243

DELECOULS-SERVAT K., BERGEL A., BASSEGUY R.
Surface-modified electrodes for NADH oxidation in oxidoreductase-catal ysed synthesis
Journal of Applied Electrochemistry, 2001, Vol. 31, Pp. 1095-1101

GAVRILAN M., ANDRE-BARRES C., BALTAS M., TZEDAKIS T., GORRICHON L.
Bicyclic peroxides in the G factors series: synthesis and electrochemical studies
Tetrahedron Letters, 2001, Vol. 42, Pp. 2465-2468

LOZAR J., FALGAYRAC G., SAVALL A.
Kinetics of the electrochemically assisted autoxidation of toluene in acetic acid
Industrial and Engineering Chemistry Research, 2001, Vol. 40, Pp. 6055-6052

TZEDAKIS T., BENZADA Y., COMTAT M.
Kinetic study of binuclear manganese-Tris (2 methyl pyridyl) amine complex used as catalyst for wood pulp bleaching
Industrial and Engineering Chemistry Research, 2001, Vol. 40, Num. 16, Pp. 3435-3444

ZOUHOU A., VERGNES H., DUVERNEUIL P.
Determination of electroless kinetic: a QCM study
Microelectronic Engineering, 2001, Vol. 56, Num. 1-2, Pp. 177-180

2002

BERGEL A.
Les biofilms aérobies, moteur de la biocorrosion
Matériaux et techniques, 2002, Vol. 7, Num. 8, Pp. 5-10

CHAMELOT P., PALAU P., MASSOT L., SAVALL A., TAXIL P.
Electrodeposition processes of tantalum (V) species in molten fluorides containing oxide ions
Electrochimica Acta, 2002, Vol. 47, Pp. 3423-3429

DA SILVA S., BASSEGUY R., BERGEL A.
A new definition of cathodic depolarization in anaerobic microbially influenced corrosion of steels
NACE International, Corrosion/2002, paper 02462, 2002, Pp. 1-15

DA SILVA S., BASSEGUY R., BERGEL A.
The role of hydrogenases in anaerobic microbiologically influenced corrosion of steels
Bioelectrochemistry, 2002, Vol. 56, Pp. 77-79

DELECOULS-SERVAT K., BASSEGUY R., BERGEL A.
Designing membrane electrochemical reactors for oxidoreductase-catalysed synthesis
Bioelectrochemistry, 2002, Vol. 55, Pp. 93-95

DELECOULS-SERVAT K., BASSEGUY R. , BERGEL A.
Membrane Electrochemical Reactor (MER): Application to NADH Regeneration for ADH-Catalysed Synthesis
Chemical engineering science, 0009-2509, 2002, Vol. 57, Pp. 4633-4642

DUVERNEUIL P., MAURY F., PEBERE N., SENOCQ F., VERGNES H.
Chemical vapor deposition of Sn02 coatings on Ti plates for the preparation of electrocatalytic
Surface & Coatings Technology, 2002, Vol. 9, Num. 13, Pp. 151-155

GUE A.M., TAP H., GROS P., MAURY F.
A miniaturised silicon based enzymatic biosensor: towards a generic structure and technology for multi-analytes assays
Sensors & Actuators B, 2002, Vol. 82, Pp. 227-232

HUNSOM M., VERGNES H., DUVERNEUIL P., PRUKSATHORN K., DAMRONGLERD S.
Recovery of copper from synthetic solution in 3PE
Science Asia, 2002, Vol. 28, Pp. 153-159

LAI M-E., BERGEL A.
Direct electrochemistry of catalase on glassy carbon electrodesBioelectrochemistry, 2002, Vol. 55, Pp. 157-160

LOZAR J., BEJAN D., SAVALL A.
Liquid-phase p-t-butyltoluene autoxidation enhanced by electrochemistry: activation of the catalytic effect of cobalt acetate
Journal of Applied Electrochemistry, 2002, Vol. 30, Pp. 839-844

MASSOT L., CHAMELOT P., BOUYER F., TAXIL P.
Electrodeposition of carbon films from molten alkaline fluoride media
Electrochimica Acta, 2002, Vol. 47, Num. 12, Pp. 1949-1957

RAYNAL F., BARHDADI R., PERICHON J., SAVALL A., TROUPEL M.
Water as solvent for nickel-2, 2'-Bipyridine catalysed electrosynthesis of biaryls from haloaryls
Advanced Synthesis and catalysis, 2002, Vol. 403, Pp. 1-5

SERRANO K., MICHAUD P.A., COMNINELLIS C., SAVALL A.
Electrochemical preparation of peroxodisulfuric acid using boron doped diamond thin film electrodes
Electrochim. Acta, 2002, Vol. 48, Num. 4, Pp. 431-436

2003

CALAS BLANCHARD C., COMTAT M., MARTY J.L., MAURAN S.
Textural characterisation of graphite matrices using electrochemical methods
Carbon, 2003, Vol. 41, Pp. 123-130

CASTAIGNEDE V., DURLIAT H., COMTAT M.
Amperometric and potentiometric determination of catechin as model of polyphenols in wines
Analytical Letters, 2003, Vol. 36, Pp. 1707-1720

FOURCADE F., TZEDAKIS T., BERGEL A.
Electrochemical process for metal recovery from iodized silver derivatives in liquid/solid mixture: Experimental and theoretical approaches
Chemical Engineering Science, 2003, Vol. 58, Pp. 3507-3522

MASSOT L., CHAMELOT P., BOUYER F., TAXIL P.
Studies of carbon nucleation phenomena in molten alkaline fluoride media
Electrochimica Acta, 2003, Vol. 48, Pp. 465-471

NAJJAR F., BALTAS M., GORRICHON L., MORENO Y., TZEDAKIS T., VIAL H., ANDRE-BARRES C.
Synthesis and electrochemical studies of new antimalarial endoperoxides
European Journal Org. Chem., 2003, Vol. 17, Pp. 3335-3343

TAXIL P., CHAMELOT P., MASSOT L., HAMEL C.
Electrodeposition of alloys or compounds in molten salts and applications
Journal Mining Metall., 2003, Vol. 39, Num. 1-2, Pp. 177-200

2004

DA SILVA S., BASSÉGUY R., BERGEL A.
Electrochemical deprotonation of phosphate on stainless steel
Electrochimica acta, 0013-4686, 2004, Vol. 49, Num. 26, Pp. 4553-4561

DA SILVA S., BASSEGUY R., BERGEL A.
Electron transfer between hydrogenase and 316L stainless steel: Identification of an hydrogenase-catalyzed cathodic reaction in anaerobic MIC.
Journal of electroanalytical chemistry and interfacial electrochemistry, 0022-0728, 2004, Vol. 561, Pp. 93-102

DA SILVA S., BASSÉGUY R., BERGEL A.
Hydrogenase-catalysed deposition of vivianite on mild steel.
Electrochimica acta, 0013-4686, 2004, Vol. 49, Num. 13, Pp. 2097-2103

DÉLÉCOULS-SERVAT K., BERGEL A., BASSÉGUY R.
Design and modelling of a dialysis membrane electrochemical reactor (D-MER) for oxidoreductase-catalysed synthesis.
Journal of applied electrochemistry, 0021-891X, 2004, Vol. 34, Num. 5, Pp. 469-476

DÉLÉCOULS-SERVAT K., BERGEL A., BASSÉGUY R.
Glucose oxidase catalysed oxidation of glucose in a Dialysis Membrane Electrochemical Reactor(D-MER).
Bioprocess and biosystems engineering, 1615-7591, 2004, Vol. 26, Num. 3, Pp. 165-168

DÉLÉCOULS-SERVAT K., BERGEL A., BASSÉGUY R.
Membrane electrochemical reactors (MER) for NADH regeneration in HLADH-catalysed synthesis: Comparison of effectiveness.
Bioprocess and biosystems engineering, 1615-7591, 2004, Vol. 26, Num. 4, Pp. 205-215

GALINIER A., CARRIERE A., FERNANDEZ Y., BESSAC A-M., CASPAR-BAUGUIL S., PERIQUET B., COMTAT M., THOUVENOT J-P., CASTEILLA L.
Biological validation of coenzyme Q redox state by HPLC-EC measurement: relationship between coenzyme Q redox state and coenzyme Q content in rat tissues
FEBS Letters, 2004, Vol. 578, Pp. 53-57

GROS P., COMTAT M.
A bioelectrochemical polypyrrole-containing Fe(CN)6 -3 interface for the design of a NAD-dependent reagentless biosensors
Biosensors & Bioelectronics, 2004, Vol. 20, Pp. 204-210

Département Procédés Electrochimiques et Matériaux (PEM)

HAMEL C., CHAMELOT P., TAXIL P.
Neodymium (III) cathodic processes in molten fluorides
Electrochimica Acta, 2004, Vol. 49, Pp. 4467-4476

NAJJAR F., FREVILLE F., DESMOULIN F., GORRICHON L., BALTAS M., GORNITZKA T., TZEDAKIS T., ANDRE-BARRES C.
Comparative electrochemical properties of fluorinated endo-peroxides related to the G-factor series
Tetrahedron letters, 0040-4039, 2004, Vol. 45, Pp. 6919-6922

NAJJAR F., GORRICHON L., BALTAS M., VIAL H., TZEDAKIS T., ANDRE-BARRES C.
Crucial role of peroxyketal function for antimalarial activity in the G-factors series
Bioorganic Medicinal Chemistry Letters, 0960-894X, 2004, Vol. 14, Pp. 1433-1436

TEERATANANON M., PRUKSATHORN K., DAMRONGLERD S., DUPUY F., VERGNES H., FENOUILLET B., DUVERNEUIL P.
Experimental investigation of the current distribution in Mohler cell and rotating cylinder hull cell
Science Asia, 2004, Vol. 30, Pp. 375-381

2005

BERGEL A., FERON D., MOLLICA A.
Catalysis of oxygen reduction in PEM fuel cell by seawater biofilm
Electrochemistry Communications, 2005, Vol. 7, Pp.900-904

CASSAYRE L., CHAMELOT P., AURURAULT L., TAXIL P.
Anodic dissolution of metals in oxide-free cryolite melts
Journal App. Electrochem., 2005, Vol. 35, Num. 10, Pp. 999-1004

DURLIAT H., COMTAT M.
Critical evaluation of potentiometric redox titrations in oenology
Analytica Chimica Acta, 2005, (à paraître)

GROS P., BERGEL A.
Electrochemically enhanced biosynthesis of gluconic acid
American Institute of Chemical Engineers Journal, 2005, Vol. 51, Num. 3, Pp. 989-997

GUITTON C., GROS P., COMTAT M., TARROUX R., BORDAT P.
Evaluation of antioxidant properties of dermo-cosmetic creams by direct electrochemical measurements
Journal of Cosmetic Science, 2005, Vol. 56, Pp. 79-90

HUNSOM M., PRUKSATHORN K., DAMRONGLERD S., VERGNES H., DUVERNEUIL P.
Electrochemical treatment of heavy metals (Cu2+, Cr6+, Ni2+)from industrial effluent and modeling of copper reduction
Water Research, 2005, Vol. 39, Num. 4, Pp. 610-616

MASSOT L., CHAMELOT P., PALAU P., TAXIL P.
Electrocrystallization of tantalum in molten fluoride media
Electrochim. Acta, 2005, Vol. 50, Num. 27, Pp. 5408-5413

MASSOT L., CHAMELOT P., TAXIL P.
Cathodic behaviour of samarium(III) in LiF-CaF2 media on molybdenum and nickel electrodes
Electrochim. Acta, 2005, Vol. 50, Num. 28, Pp. 5510-5517

RUFFIEN CISZAK A., GROS P., COMTAT M., SCHMITT A-M., QUESTEL E., CASAS C., REDOULES D.
Exploration of the global anitoxidant capacity of the stratum corneum by cyclic voltammetry
Journal of Pharmaceutical and biomedical Analysis, 2005, (à paraître)

SERP J., CHAMELOT P., FOURCAUDOT S., KONINGS R-J-M., MALMBECK R., PERNEL C., POIGNET J-C., REBIZANT J., GLATZ J-P.
Electrochemical behaviour of americium ions in LiCl-KCl eutectic melt
Electrochimica Acta, 2005, (à paraître)

YOON S.K., CHOBAN E.R., KANE C., TZEDAKIS T., KENIS P.J.A.
Laminar flow based electrochemical microreactor for efficient regeneration of Nicotinamide cofactors for biocatalysis
J. Am. Chem. Soc., 2005, Vol. 127, n°30, Pp.10466-10467

OUVRAGES SCIENTIFIQUES

2002

SAVALL A.
The electrochemistry of arenes, styrenes and arylakynes.
Topical volume on organic electrochemistry.
Ch. 5, Second supplements to the 2nd edition of Rodd's Chemistry of carbon compounds
M. Sainsbury, Elsevier, 0 444 50900 3, 2002

2004

BERGEL A., BERTRAND J.
Méthodes de génie des procédés, études de cas
Hermès Science Publishing Ltd., 2-7462-0814-8, 448 pages, 2004

ARTICLES DE VULGARISATION

2003

BERGEL A. (rapporté par TIMIZAR N.)
Des bactéries pour produire de l'électricité
L'Usine Nouvelle, Numéro spécial "les technologies pour demain", 2003, n°2894

2004

BERGEL A.
Une pile à bactéries
Science et Avenir, 2004

BERGEL A., FERON D.
Biofilms et électricité, une idée lumineuse ! www.spi.cnrs-dir.fr.spi.actualit.article, 2004, Num. 168

BERGEL A. (rapporté par BIA S.)
Biofilms marins : une recherche qui électrise
Journal du CNRS, 2004, n°18

2005

FERON D., BERGEL A.
Mettre au point de nouveaux catalyseurs: la catalyse enzymatique
Clefs CEA, 0298-6248, 2005, Vol. 51.51, Pp. 74-75

COMMUNICATIONS AVEC ACTES

2001

ELOI P., GROS P., REDOULES D., TARROUX R., GALL Y.,
Electrochemical methods for skin analysis
Comm. 6ème Rencontre Transfrontalière Capteurs et Biocapteurs, TOULOUSE (France), 20.09.01

HUNSOM M., VERGNES H., DUVERNEUIL P., PRUKSATHORN K., DAMRONGLERD S.
Recovery of copper from synthetic solution by electrochemical technique
Comm. 6th World Congress of chemical engineering: environment section, MELBOURNE (Australie), 23-27.09.01

POLYAKOVA L-P., POLYAKOV E.G., TAXIL P., ARAKCHEEVA A-V., GRINEVITCH V-V.
Chemical reactions and cathodic products in fluoride melts containing oxcompounds
Comm. 6th International symposium on Molten Salts, SHANGAI (Chine), 08-12.10.01

TAXIL P., SERRANO K., DUGNE O.
Preparation of uranium coatings in molten salts media
Comm. ICONE 9, NICE (France), 08-12.04.01

ZOUHOU A., CHIKH DJAOUTI M., VERGNES H., DUVERNEUIL P.
Etude du dépôt électroless de cuivre par nanoblance à quartz
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 88, Pp. 229-236

2002

UERTA ORTEGA B., GABAS N., FAVAREL J-L., FEILHES J-L., COMTAT M.
Improvement in potassium hydrogen tartrate crystallization on metallic structure
Comm. 15th International Symposium on Industrial Crystallization, SORRENTO (Ilaly), 15-18.09.02, Num. 2, Pp. 987

2003

DUPUY F., VERGNES H., FENOUILLET B., DUVERNEUIL P.
Modélisation de la distribution de courant dans les réacteurs électrochimiques
Comm. 9ème congrès francophone de Génie des Procédés, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03, Pp. 1561-1568

2004

BASSEGUY R., IDRAC J., JACQUES C., BERGEL A., DELIA M-L., ETCHEVERRY L.
Local analysis by SVET of the involvement of biological systems in aerobic biocorrosion
Comm. Eurocorr 2004, workshop 2: Local Probe Technique for Corrosion Research, NICE (France), 12-16.09.04

TEERATANANON M., PRUKSATHORN K., DAMRONGLERD S., DUPUY F., VERGNES H., FENOUILLET B., DUVERNEUIL P.
Experimental investigation on the mechanism of zinc-nickel alloys electrodeposition
Comm. ASCON, TAIWAN, 21-24.11.04, Pp. 385-390

2005

LOZAR J., LAFAGE B.
Cinétique de la réduction de l'acétate de cobalt(III)
Conf. 10ème Congrès SFGP, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

WEISS E., GROENEN SERRANO K., SAVALL A.
Surfactant wastewater treatment by electrochemical oxidation
Comm. International Conference on Engineering for Waste Treatment, ALBI (France), 17-20.05.05

COMMUNICATIONS SANS ACTES

2001

ADDI Y., DUVERNEUIL P., LOUNIS A.
Variation du Ph de la solution au cours de l'électrodéposition des métaux lourds (cuivre, nickel et molybdène) sur différentes électrodes (platine, acier et mercure)
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

BEJAN D., SAVALL A.
Activation of alkylaromatics towards dioxygen by anodic oxidation in acetic acid
Conf. Joint International Meeting ECS ISE, SAN FRANCISCO (USA), 02-07.09.01

CHICK DJAOUTI M., FENOUILLET B., VERGNES H., DUVERNEUIL P.
Modélisation du dépôt électroless de cuivre
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01, Pp. CA11-7

COMTAT M.
Electrochimie analytique et espace
Conf. 1er atelier Electrochimie et Espace, TOULOUSE (France), 01.03.01

COMTAT M.
Electrochimie et analyse en biologie clinique
Conf. Atelier Electrochimie et Santé, Société Française de Chimie, PARIS (France), 30.11.01

FOURCADE F., TZEDAKIS T., BERGEL A., DEVISME F.
Optimisation expérimentale et théorique du traitement électrochimique d'effluents solides
Conf. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

HARFOUCHE H., SAVALL A.
Procédé d'électrosynthèse à anode soluble: couplage dissymétrique entre le bromobenzène et l'éthyl 2-chloropropionate
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

LOZAR J., BEJAN D., SAVALL A.
Activation électrochimique de l'action catalytique de l'acétate de cobalt (III) dans l'autoxydation du p-tert-butyltoluène
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

MASSOT L., CHAMELOT P., TAXIL P., BOUYER F.
Revêtements de carbure de tantale par interdiffusion de tantale et de carbone electrodeposés en milieu de sels fondus
Conf. Journées Practis 2001, VILLENEUVE LES AVIGNON (France), 22-23.02.01

PAILLOUS N., SERPENTINI C.L., DE MONTAUZON D., COMTAT M., GINESTAR J.
Characterisation of the redox properties of synthetic dopa-melanins
Conf. 10th meeting European Society of Pigment Cell Research, ROME (Italie), 30.09.01

RAYNAL F., SAVALL A.
Electrosynthèse de biaryles en milieu aqueux catalysée par des complexes du nickel. Partie I: mise au point dans une cellule équipée d'une anode consommable
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

RAYNAL F., SAVALL A.
Electrosynthèse de biaryles en milieu aqueux catalysée par des complexes du nickel. Partie II: mise au point dans une cellule divisée équipée d'une membrane anionique
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

RAYNAL F., SAVALL A.
Electrosynthèse de biaryles en milieu aqueux catalysée par des complexes du nickel. Partie III: mise au point dans un réacteur filtre pressé
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

ROMULUS A.M., LOZAR J., SAVALL A.
Modélisation de la cinétique des réactions dans un réacteur électrochimique en mode intensiostatique
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

SAMET Y., ABDELHEDI R., SAVALL A.
Mécanisme d'oxydation électrochimique du guaiacol et du 4-chloroguaiacol sur une surface d'oxydes d'or
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

TAXIL P., MASSOT L., CHAMELOT P.
Carbon electrodeposition in carbonate containing molten fluorides
Comm. Molten Carbonates Fuel Cell (MCFC) Workshop, PARIS (France), 12.02.01

ZOUHOU A., VERGNES H., DUVERNEUIL P.
Etude cinétique du dépôt électroless du cuivre par microbalance à quartz
Comm. Journées d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01, Pp. C011-13

2002

GORRICHON L., NAJJAR F., ANDRE-BARRES C., BALTAS M., TZEDAKIS T.
Synthèse et étude des propriétés redox d'endoperoxydes naturels apparentés aux facteurs G
Comm. ENSC, RENNES (France), 17.12.02

GROS P., COMTAT M.
Méthodes électrochimiques pour l'étude des processus de vieillissement cutané
Conf. VIIIème Colloque National du Groupe Français de Bioélectrochimie, CERET (France), 2002

GROS P., COMTAT M., REDOULES D., TARROUX R., GALL Y.
Evaluation of the overall antioxidant skin capacity using microelectrodes
Conf. 53rd meeting of the International Society of Electrochemistry, DÜSSELDORF (Germany), 15-20.09.02

HAMEL C., CHAMELOT P., LAPLACE A., LACQUEMENT J., TAXIL P.
Neodymium electrodeposition process in molten fluoride media
Conf. Euchem Conference in Molten Salts, OXFORD (UK), 01-06.09.02

HUNSOM M., VERGNES H., DUVERNEUIL P., PRUKSATHORN K., DAMRONGLERD S., FENOUILLET B.
Recovery of chromium and nickel by electroprecipitation technique in membrane reactor
Comm. 6th World congress on Integrated Resources Management, GENEVE (Suisse), 12-15.02.02

MASSOT L., CHAMELOT P., TAXIL P.
Carbon electrodeposition process in molten fluorides
Conf. Euchem Conference in Molten Salts, OXFORD (UK), 01-06.09.02

Département Procédés Electrochimiques et Matériaux (PEM)

MASSOT L., CHAMELOT P., TAXIL P., BOUYER F.
Faisabilité d'obtention du carbure de tantale en milieu fluorures alcalins fondus
Conf. Journées Thèses CEA 2002, MARCOULE (France), 2002

NAJJAR F., ANDRE-BARRES C., BALTAS M., TZEDAKIS T., VIAL H., GORRICHON L. Synthèse d'endoperoxydes à visée antipaludique effet de la méthylation sur leurs propriétés rédox et leurs activités biologiques
Conf. SFC Grand Sud Ouest, MONTPELLIER (France), 22.11.02

SERRANO K., GUITTON C., SAVALL A.
Generation of Ag(II) ions in nitric acid on diamond electrode
Conf. 5th International Workshop Diamond Electrodes, ITZEHOE (Germany), 05-07.06.02

TREVIN S., AMIAUX F., COURTOIS V., DEPECKER C., CARPENTIER Y., SELLIER R., MELLAH M., SAVALL A., DEJAN D.
Efforts of EDF in term of R&D in preparative electrochemistry and transposition of electrosynthesis organic reactions from laboratory to industrial prototype
Conf. International Society of Electrochemistry, 53rd Annual Meeting, DUSSELDORF (Germany), 15-20.09.02

2003

BASSEGUY R., BERGEL A., DELIA M-L., ETCHEVERRY L., IDRAC J., CORATGER R. Approche locale pour l'identification des mécanismes de la bicorrosion aérobie
Conf. Evaluation de l'ACI Surfaces, Interfaces et Conception de Nouveaux Matériaux, PARIS (France), 27-28.10.03

BEJAN D., SAVALL A., TREVIN S., MELLAH M.
Coupling of electrochemical activation and oxygenation for aldehydes synthesis from toluenes in acetic acid
Conf. Symposium AD1 Environmentally Friendly Organic Electrode Processes, as a part of the 203rd Meeting of the Electrochemical Society 27th May 2003, PARIS (France), 29.04.03

BERGEL A., FERON D., L'HOSTIS V., PRIERE H., ROY M., GARAPIN N.
Enzymatic catalysis of oxygen reduction in a dihydrogen/dioxygen fuel cell
Comm. Atelier CNES "Piles à combustible", CCT "Energie de bord", TOULOUSE (France), 19.11.03

DA SILVA S., BASSEGUY R., BERGEL A.
Direct electron transfer between R. eutropha hydrogenase and steels: possible role in MIC
Comm. 203rd Meeting of the Electrochemical Society, PARIS (France), 27.04-02.05.03

DUPUY F., VERGNES H., FENOUILLET B., DUVERNEUIL P.
Modélisation des réacteurs électrochimiques
Comm. Journée d'Electrochimie, POITIERS (France), 03-06.06.03

DUPUY F., VERGNES H., FENOUILLET B., DUVERNEUIL P.
Numerical investigation of the current distribution in different geometries
Comm. 4th European congress of Chemical Engineering, GRANADA (Spain), 21-25.09.03

FOURCADE F., TZEDAKIS T., LAUNAY A., DEVISME F.
Optimisation d'un procédé électrochimique de récupération des dérivés iodés d'argent en suspension liquide-solide
Conf. Journées d'Electrochimie 2003, POITIERS (France), 03-06.06.03

GORRICHON L., NAJJAR F., ANDRE-BARRES C., BALTAS M., TZEDAKIS T.
Endoperoxydes d'eucalyptus et de myrtacees: des phytohormones à propriétés antipaludiques
Conf. Colloque Franco-Tunisien de Chimie Organique, TABARKA (Tunisie), 07-14.09.03

GUITTON C., GROS P., TARROUX R., COMTAT M.
Evaluation of antioxidant capacity in cosmetic products by direct electrochemical measurements
Comm. 8ème Rencontre Transfrontalière Capteurs et Biocapteurs, CERET (France), 09.03

GUITTON C., SALLES J-R., GROS P., TARROUX R.
Etude électrochimique de produits dermocosmétiques
Comm. Journées d'Electrochimie, POTIERS (France), 02-06.06.03

LACHAISE I., FALGAYRAC G., NEDELEC J.Y., TROUPEL M., HARFOUCHE H., SAVALL A.
Développement en réacteur à circulation de procédés d'électrosynthèse associant anode soluble et catalyse par des complexes de métaux bas-valents.
Conf. Journées d'Electrochimie, POITIERS (France), 02-06.06.03

NAJJAR F., BALTAS M., GORRICHON L., TZEDAKIS T., ANDRE-BARRES C.
Synthèse d'endoperoxydes analogues de composés naturels et étude de leurs propriétés rédox
Conf. Symposium Sigma-Aldrich Jeunes Chercheurs, ARCACHON (France), 13-15.10.03

PALAU P., TAXIL P., SAVALL A.
Elaboration and optimization of oxygen DSA of the type Ta/Ir02
Conf. Symposium AE2 Electrochemistry of Novel Electrode Materials, part of the 203rd Meeting of the Electrochemical Society 27th May 2003, PARIS (France), 29.04.03

PARDO A., BASSEGUY R., BERGEL A.
Catalytic reduction of oxygen and trichloroacetic acid on myoglobin/polyethyleneimine modified electrodes
Conf. 203rd Meeting of the Electrochemical Society, PARIS (France), 27.04-02.05.03

PARDO A., BASSEGUY R., BERGEL A.
Comparison of layer-by-layer immobilisation procedures for cytochrome P450-BM3 on graphite electrodes
Conf. 17th Symposium of the Bioelectrochemical Society, FLORENCE (Italie), 19-24.06.03

RUFFIEN A., GROS P., COMTAT M., PAGES E., REDOUBLES D., QUESTEL E., CASAS C.
Electrochemical sensor for the evaluation of skin antioxidant properties
Comm. 8ème Rencontre Transfrontalière Capteurs et Biocapteurs, CERET (France), 09.03

TAXIL P., CHAMELOT P., MASSOT L., HAMEL C.
Electrosynthesis of refractory compounds in molten salts: basic principles and applications
Comm. Congrès ISE 2003, RIO DE JANEIRO (Brasil), 2003

TEERATANANON M., SAIDI K., FENOUILLET B., VERGNES H.
Etude des dépôts d'alliage nickel/zinc
Comm. Journée d'Electrochimie, POITIERS (France), 03-06.06.03

2004

BASSEGUY R., IDRAC J., JACQUES C., BERGEL A., DELIA M-L., ETCHEVERRY L.
How to mimic biofilm behaviour to develop a local analysis of aerobic biocorrosion
Conf. EUROCORR 2004, Workshop 10: Biofilms and Materials in Natural Environments, NICE (France), 12-16.09.04

BERGEL A., DA SILVA S., BASSEGUY R.
Enzyme-catalysed deposition of vivianite on carbon steels
Conf. 55th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Symposium 7: Corrosion Science, THESSALONIQUE (Grèce), 19-24.09.04

GUITTON C., GROS P., TARROUX R., COMTAT M.
Étude électrochimique de produits dermo-cosmétiques
Comm. IX Colloque National du Groupe Français de Bioélectrochimie, CERET (France), 03.04
Comm. Journée Jeunes Chercheurs (SFC) – TOULOUSE (France), 04.04

KANE C., TZEDAKIS T.
Microréacteur électrochimique
Conf. SFC Journée Jeunes Chercheurs, TOULOUSE (France), 29.04.04

KENIS P.J.A., YOON S.K., CHOBAN E.R., KANE C., TZEDAKIS T.
Efficient regeneration of NADH cofactor in laminar flow based microreactors
Conf. 206th Meeting of the Electrochemical Society, HONOLULU, HI, 03-03.10.04

RUFFIEN A., GROS P., COMTAT M., CASAS C., QUESTEL E., REDOULES D.
Capteur électrochimique pour l'évaluation des propriétés antioxydantes de la peau
Comm. IX Colloque National du Groupe Français de Bioélectrochimie, CERET (France), 03.04

RUFFIEN A., GUITTON C., CASTAIGNEDE V., GROS P., COMTAT M.
Application of electrochemical techniques to the evaluation of antioxidant properties of skin, cosmetcis and wine
Comm. 9èmes Rencontres Transfrontalières Capteurs et Biocapteurs, TARRAGONA (Spain), 30.09.04

RUFFIEN A., GUITTON C., CASTAIGNEDE V., GROS P., COMTAT M.
Evaluation des propriétés antioxydantes de la peau, de produits cosmétiques et du vin par des méthodes électrochimiques
Comm.14ème Journée Chimie Grand Sud Ouest, TOULOUSE (France), 11.04

WEISS E., GROENEN SERRANO K., SAVALL A.
Dégradation d'effluents industriels par électrochimie, cas de la dégradation d'un tensioactif
Conf. Journée Grand Sud-Ouest, TOULOUSE (France), 09.04

YOON S.K., CHOBAN E.R., KANE C., TZEDAKIS T., KENIS P.J.A.
Laminar flow based microreactor for regeneration of NADH
Conf. 205th Meeting of the electrochemical society, Inc. symposium S2, SAN ANTONIO (USA), 09-13.05.04

2005

CASTAIGNEDE V., HUERTA ORTEGA B., COMTAT M.
Aptitude des vins rouges à la réduction: approche électrochimique
Comm. Matinée des Œnologues, BORDEAUX (France), 2005

GUITTON C., GROS P., TARROUX R., COMTAT M.
Direct electrochemical measurements in dermo-cosmetic creams and electrode modification for ascorbic determination
Comm. XVIIIe International Symposium on Bioelectrochemistry and Bioenergetics, COIMBRA (Portugal), 19-24.06.05

GUITTON C., GROS P., TARROUX R., COMTAT M.
Etude électrochimique de crèmes dermocosmétiques
Comm. Journées d'Electrochimie, SAINT-MALO (France), 05-08.07.05

HUERTA ORTEGA B., COMTAT M., GABAS N., FAVARELL J-L.
Application d'un champ électrique de faible amplitude pour l'amélioration de la cristallisation et de la filtration sur supports métalliques en oenologie
Comm. Congrès de la Société française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

KANE C., TZEDAKIS T.
Synthèse électroassistée dans un réacteur à canaux microstructurés
Conf. 10ème Congrès SFGP, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

KANE C., TZEDAKIS T.
Modelling of electrochemical microreactors for enzymatic syntheses
Conf. 7th European Symposium on Electrochemical Engineering, TOULOUSE (France), 03-05.10.05

KANE C., TZEDAKIS T. LAUNAY. A.
Microréacteurs électrochimiques, des outils pour des nouveaux chemins réactionnels. Application dans la synthèse stéréosélective
Conf. Journées d'Electrochimie, SAINT-MALO (France), 05-08.07.05

LANG M., WEISS E., GROENEN SERRANO K., SAVALL A., JITARU M.
Etude de la dégradation électrochimique de la Tartrazine (E102) et du Ponceau 4R (E124) en utilisant une électrode de diamant dopé au bore
Comm.Journées d'Electrochimie, SAINT-MALO (France), 05-08.07.05

RUFFIEN-CISZAK A., GROS P., COMTAT M., BOUSSIOUX A., QUESTEL E., SCHMITT A-M., CASAS C., REDOULES D.
Evaluation simultanée du pH et de la capacité antioxydante globale du stratum corneum par des mesures électrochimiques directes
Comm. 21è Journée Chimie-Biologie de l'Université Paul Sabatier, TOULOUSE (France), 05.05

RUFFIEN A., GROS P., COMTAT M., QUESTEL E., SCHMITT A-M., CASAS C., REDOULES D.
Mesures électrochimiques directes à la surface de l'épiderme: analyse de la capacité antioxydante de la peau
Comm. Journées d'Electrochimie, SAINT-MALO (France), 05-08.07.05

RUFFIEN A., GROS P., COMTAT M., QUESTEL E., SCHMITT A-M., CASAS C., REDOULES D.
Potentialities of multi-microelectrodes for the evaluation of the stratum corneum global antioxidant capacity
Comm. XVIIIe International Symposium on Bioelectrochemistry and Bioenergetics, COIMBRA (Portugal), 19-24.06.05

STAN M., WEISS E., GROENEN SERRANO K., SAVALL A., JITARU M.
Comportement électrochimique du méthyl orange. Utilisation d'une électrode de diamant dopé au bore
Comm. Journées d'Electrochimie, SAINT-MALO (France), 05-08.07.05

TAXIL P., MASSOT L., SERRANO K., PALAU P., CHAMELOT P.
Electrocristallisation processes in molten salts
Comm. Congrès ISE 2005, THESSALONIKI (Grèce), 2005

WEISS E., GROENEN SERRANO K., SAVALL A., COMNINELLIS C.
Etude de la dégradation électrochimique des acides carboxyliques simples en utilisant une électrode en diamant dopé au bore
Comm. Journées d'Electrochimie, SAINT-MALO (France), 05-08.07.05

WEISS E., GROENEN SERRANO K., SAVALL A.
A kinetic and mechanistic study of the electrochemical oxidation of maleic acid on a diamond electrode
Comm. 7th European Symposium on Electrochemical Engineering, TOULOUSE (France), 03-05.10.05

CONFERENCES INVITEES

2001

BERGEL A.
Capteurs de biofilms: état de l'art
Conf. Perrier-Vittel, VITTEL (France), 30.12.01

COMTAT M.
Capteurs et biocapteurs électrochimiques, principes et applications
Conf. Université AMIENS (France), 30.11.01

GROS P.
Biocapteurs électrochimiques NAD-dépendants: problèmes analytiques et solutions technologiques
Conf. Colloque Joint Club des Microcapteurs Chimiques / Club Français des Membranes: Capteurs et Membranes, PARIS (France), 2001

GROS P.
Electrochemical biosensors and clinical biology: a few examples of 25 years long research
Conf. 4e Rencontres Franco-Japonaises Biocapteurs et Bioélectronique, TOKYO (Japan), 2001

SAVALL A.
Status on the development of oxides based anodes for electrochemical depollution
Conf. 4th International Symposium on New Materials for Electrochemical Systems, MONTREAL (Canada), 09-13.07.01

SAVALL A., BEJAN D.
Récents développements sur l'oxydation de toluènes en phase liquide. Oxygénation déclenchée par voie électrochimique
Conf. Université de Genève Département de Chimie Analytique Minérale et Appliquée, GENEVE (Suisse), 24.03.01

TAXIL P., CHAMELOT P., SERRANO K., BESSADA C.
Recovery of uranium by electrodeposition in molten chlorides media
Conf. 6th International Symposium on Molten Salts, SHANGAI (Chine), 08-12.10.01

TAXIL P., MASSOT L., CHAMELOT P., SERRANO K.
Traitement de surface par électrolyse et électroraffinage dans les halogénures alcalins fondus
Conf. Journées Européennes d'Electrochimie, MARRAKECH (Maroc), 05-08.06.01

2003

SAVALL A., Les matériaux d'électrode
Conf. Journées d'Electrochimie, POITIERS (France), 06.06.03

2004

BERGEL A.
From marine biocorrosion to marine bioprocesses
Conf. Workshop de l'Instituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR), "Ciclo del carbonio e risorse del mare, ROME (Italie), 10-11.05.04

BERGEL A., FERON D., MOLLICA A., DA SILVA S., BASSEGUY R.
From marine microbial corrosion to new bioprocesses
Conf. EUROCORR 2004 Workshop 10 : Biofilms and Materials in natural Environments, NICE (France), 12-16.09.04

COMTAT M.
L'électrochimie: un outil de mesure des paramètres d'oxydo-réduction
Conf. CRECEP: Coordination des Recherches sur Chardonnay et Pinot BEAUNE (France), 31.03.04

COMTAT M., GUITTON C., RUFFIEN A., CASTAIGNEDE V., GROS P.
Quelques méthodes électrochimiques pour la détermination du pouvoir antioxydant: applications en analyse clinique et en agroalimentaire
Conf. VIIème Congrès de la Société Francophone Vitamines & Biofacteurs, TOULOUSE (France), 23-25.06.04

TZEDAKIS T.
Electrochimie et applications 2004
Conf. SFC Journée Jeunes Chercheurs, TOULOUSE (France), 29.04.04

Département Procédés Electrochimiques et Matériaux (PEM)

BREVETS

2005

BERGEL A.
Pôle National de Recherche à Implantation Régionale (PNIR) Biofilms
Conf. 19èmes Journées Surfaces et interfaces, VILLEURBANNE (France), 26-28.01.05

2001

TREVIN S., DELECOULS-SERVAT K., BASSEGUY R., PROSDOCIMI J., BERGEL A
Réacteur électrochimique à membrane filtrante
FR2826668, B1967, EDF, 01.06.01

2002

BERGEL A., FERON D.
Pile à combustible utilisant des biofilms en tant que catalyseur des réactions cathodique et.ou anodique
FR 02 10009, 06-août-02, CEA-CNRS, 2002, En cours d'extension internationale

FERON D., BERGEL A.
Pile à combustible utilisant des enzymes en tant que catalyseur des réactions cathodique et.ou anodique
FR 02 01488, 07-févr-02, CEA-CNRS, 2002, En cours d'extension internationale

GROS P., REDOULES D., ETCHEVERRY L., COMTAT M., TARROUX R., GALL Y.
Dispositif et procédé de mesure directe de pH et d'état d'oxydation
FR.02.12232, 03.10.02, Extention PCT/FR.0302908, 03.10.03

TREVIN S., DELECOULS-SERVAT K., BASSEGUY R., PROSDOCIMI J., BERGEL A.
Electrochemical reactor with filtering membrane
W003008089, EDF FR2826668, Juin 2002

2004

CHOBAN E-R., WASZCZUK P., TZEDAKIS T., KENIS P-J-A., KANE C., YOON S-K.
Microfluidic device and synthetic methods
10/844, 058, US PATENT, 2004

TZEDAKIS T., KANE C., LAUNAY A.
Microréacteur
04.12305, UPS/CNRS, 2004

TZEDAKIS T., KANE C., LAUNAY A.
Microreactor
N60/631, 877, UPS – CNRS, United States patent (extension du n° 04.12305), 2004

2005

GUITTON C., GROS P., COMTAT M., TARROUX R.
Cellule électrochimique pour l'étude des propriétés redox de produits dermocosmétiques
2005, (en cours)

RUFFIEN CISZAK A., GROS P., COMTAT M., SCHMITT A-M., QUESTEL E., CASAS C., REDOULES D.
Dispositif électrochimique de meusure du pH et de détermination des marqueurs des propriétés antioxydantes de la surface cutanée 2005, (en cours)

ARTICLES DE REVUES

2001

AZZARO-PANTEL C., DAVIN A., PIBOULEAU L., FLOQUET P., DOMENECH S.
Implementation of multiobjective optimisation for multi-purpose batch plant planning
Computer Aided Chemical Engineering, 2001, Vol. 9, Pp. 949-954

BELAUD J-P., ALLOULA K., LE LANN J-M., JOULIA X.
Open software architecture for numerical solvers: design, implementation and validation
Computer Aided Chemical Engineering, 2001, Vol. 9, Pp. 667-672

CHARLES A-S., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L., FLOQUET P.
Implementation of a failure model validation technique using a discrete-event batch simulator: application to semi-conductor manufacturing
Computer Aided Chemical Engineering, 2001, Vol. 9, Pp. 117-122

CHARLES A-S., RIGOLOT L., AZZARO-PANTEL C., JAUME D., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Caractérisation des paramètres influant la performance d'ateliers discontinus en présence d'aléas
Revue Internationale d'ingénierie des Systèmes de Production Mécanique, 2001, Vol. 5, Pp. 21-31

DAVIN A., FLOQUET P., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Optimisation des paramètres du recuit simulé en génie des procédés appliqué aux réseaux d'appareillages (réacteurs, échangeurs de chaleur)
Entropie, 2001, Vol. 231, Pp. 12-28

ELGUE S., CABASSUD M., PRAT L., LE LANN J-M., G. CASAMATTA, CEZERAC J.
Optimization of global pharmaceutical syntheses integrating environmental aspects
Computer Aided Chemical engineering, 2001, vol 9, Pp. 1127-1132

FLOQUET P., DOMENECH S., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L.
Etude de l'aspect combinatoire de la gestion de conflits dans un atelier discontinu
Canadian Journal of Chemical Engineering, 2001, Vol. 79, Pp. 834-839

GOURC D., BOUGARET S., LACOSTE G.
Le management des projets innovants dans le secteur pharmaceutique
Revue La cible, 2001, n° 88,15-19, ISSN 0752 5214

HETREUX G., PERRET J., PINGAUD H.
Computer aided system for short term scheduling of batch processes based on hybrid simulation
Computer-Aided Chemical Engineering, 2001, Vol. 9, Pp. 889-894

LAQUERBE C., LABORDE J-C., SOARES S., FLOQUET P., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Synthesis of RTD models via stochastic procedures: Simulated annealing and genetic algorithms
Computers and Chemical Engineering, 2001, Vol. 25, Pp. 1169-1184

LAQUERBE C., LABORDE J-C., SOARES S., RICCIARDI L., FLOQUET P., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Computer-aided synthesis of RTD models to simulate the air flow distribution in ventilated rooms
Chemical Engineering Science, 2001, Vol. 56, Num. 20, Pp. 5727-5738

LEE G., YOON E-S., LIM Y-I., LE LANN J-M., MEYER X-M., JOULIA X.
Adaptive mesh method for the simulation of crystallization processes including agglomeration and breakage: the potassium sulfate system
Industrial and Engineering Chemical Research, 2001, Vol. 40, Num. 26, Pp. 6228-6235

LIM Y.I., FLOQUET P., JOULIA X.
Efficient implementation of NBI method on multiobjective optimization problems
Industrial and Chemical Engineering Research, 2001, Vol. 40, Num. 2, Pp. 648-655

LIM Y.I., LE LANN J-M., JOULIA X.
Accuracy, temporal performance and stability comparisons of discretization methods for the solution of partial differential equations (PDEs) in the presence of steep moving fronts
Computers and Chemical Engineering, 2001, Vol. 25, Num. 11-12, Pp. 1483-1492

LIM Y.I., LE LANN J-M., JOULIA X.
Moving mesh generation for tracking a shock or steep moving front
Computers and Chemical Engineering, 2001, Vol. 25, Num. 4-6, Pp. 653-663

LIM Y.I., LE LANN J-M., MEYER X., JOULIA X.
Dynamic simulation of batch crystallization process by using moving finite difference method
Computer Aided Chemical Engineering, 2001, Vol. 9, Pp. 201-207

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Enhancement of absorption efficiency for a laminar film flow, by hydrodynamics conditions generated by a new type of column wall
Chemical Engineering Journal, 2001, Vol. 83, Pp. 7-13

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Study of a laminar falling film flowing over a wavy wall column: Part I. Numerical investigation of the flow pattern and the coupled heat and mass transfer
International Journal of Heat and Mass Transfer, 2001, Vol. 44, Pp. 2137-2146

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Study of a laminar falling film flowing over a wavy wall column: Part II. Experimental validation of hydrodynamics.
International Journal of Heat and Mass Transfer, 2001, Vol. 44, Pp. 2147-2154

RODRIGUEZ-DONIS I., GERBAUD V., JOULIA X.
Entrainer selection rules for the separation of azeotropic and close boiling point mixtures by homogeneous batch distillation
Industrial and Engineering Chemistry Research, 2001, Vol. 40, Num. 12, Pp. 2729-2741

RODRIGUEZ-DONIS I., GERBAUD V., JOULIA X.
Heterogeneous Entrainer Selection Rules for the Separation of Azeotropic and Close Boiling Point Mixtures by Heterogeneous Batch Distillation
Industial and Engineering Chemical Research, 2001, 0888-5885, Vol. 40, Num. 20, Pp. 4935-4950

RODRIGUEZ-DONIS I., GERBAUD V., JOULIA X.
Middle vessel heterogeneous batch distillation of an azeotropic mixture
Computer Aided Chemical Engineering, 2001, Vol. 9, Pp. 499-504

RODRIGUEZ I., PARDILLO-FONTDEVILLA E., GERBAUD V., JOULIA X.
Synthesis, experiments and simulation of heterogeneous batch distillation processes
Computers and Chemical Engineering, 2001, Vol. 25, Num. 4-6, Pp. 799-806

2002

BELAUD J-P., PONS M.
Open software architecture for process simulation
Computer-Aided Chemical Engineering, 2002, 0-444-51109-1, Vol. 10, Pp. 847-852

BERNAL HARO L., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Multiobjective batch plant design: a two-stage methodology Part I: Development of a design-oriented discrete-event simulation model
Industrial & Engineering Chemistry Research, 2002, Vol. 41, Num. 23, Pp. 5727-5742

BERNAL HARO L., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Multiobjective batch plant design: a two-stage methodology Part II: Development of a genetic algorithm and results analysis
Industrial & Engineering Chemistry Research, 2002, Vol. 41, Num. 23, Pp. 5743-5758

BRANDAM C., MEYER X-M., PROTH J., STREHAIANO P., PINGAUD H.
A new reaction scheme for the starch hydrolysis and temperature policy influence during mashing
Food Science and Biotechnology, 2002, Vol. 11, Num. 1, Pp. 40-47

CORDOVA LOPEZ E., LACOSTE G., LE LANN J-M.
Use of Altshuller's matrix for solving slag problems related to steering knuckle: part 1
www.triz-journal.com (03), 2002, 12 pages

CORDOVA LOPEZ E., LACOSTE G., LE LANN J-M.
Use of Altshuller's matrix for solving slag problems related to steering knuckle: part 2
www.triz-journal.com (04), 2002, 8 pages

DEVATINE A., GERBAUD V., GABAS N., BLOUIN J.
Maîtrise de l'acidité des vins et des précipitations tartriques: le logiciel Mextar
Journal international des sciences de la vigne et du vin, 2002, 1151-0285, Vol. 36, Num. 2, Pp. 77-90

ELGUE S., PRAT L., CABASSUD M., LE LANN J-M., CEZERAC J.
Optimisation of a Methyl Acetate production process by reactive batch distillation
Computer- Aided Chemical Engineering, 2002, Vol. 10, Pp. 475-480

JULCOUR C., CHAUDARI R-V., LE LANN J-M., WILHELM A-M., DELMAS H.
Dynamic Modeling of three-phase upflow fixed-bed reactor including pore diffusion
Chemical Engineering and Processing, 2002, Vol 41, Issue 4, Pp. 311-320

Département Procédés et Systèmes Industriels (PSI)

LIM Y-I., LE LANN J-M., MEYER X-M., JOULIA X., LEE G., YOON E-S.
On the solution of population balance equations (PBE) with accurate front tracking methods in pratical crystallization processes
Chemical Engineering Science, 2002, Vol. 57, Num. 17, Pp. 3715-3752

MARUEJOULS C., AZZARO-PANTEL C., SCHIRLIN M., PIBOULEAU L., DOMENECH S. Development of an efficient simulation tool for multiproduct batch plant design
Chemical Engineering and Processing, 2002, Vol. 14, Num. 3, Pp. 189-198

RODRIGUEZ-DONIS I., GERBAUD V., JOULIA X.
Feasibility of Heterogeneous Batch Distillation 2002
AIChE Journal, 2002, 0001-1541, Vol. 48, Num. 6, Pp. 1168-1178

THERY R., MEYER X-M., JOULIA X.
Design of reactive distillation units: a new sequential approach
AIDIC Conferences Series, 2002, Vol. 5, Pp. 315-322

URRUTIA A., GALINDO J., JIMENEZ L.,ZARATE P.
Extensión del Modelo Conceptual EER para Representar tipos de datos difusos
I+D Computación, 2002, vol 1, Pp. 98-113

2003

BELAUD J-P., BRAUNSCHWEIG B-L., HALLORAN M., IRONS K., PINOL D.
Through new generation process engineering solutions: CAPE-OPEN technology & compliant software
Chemical Engineering Communications, 2003

BELAUD J-P., ROUX P., JOULIA X.
Opening unit operations for process engineering software solutions
Chemical Engineering Transactions, AIDIC 2003, 88-900775-2-2, Vol. 3, Pp. 1069-1074
et AIDIC Conference Series Vol.6, 2003, Pp. 35-44

BRANDAM C., MEYER X-M, PROTH J., STREHAIANO P., PINGAUD H.
An original kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing
Biochemical engineering journal, 2003, Vol. 13, Num. 1, Pp. 43-52

CHARLES A-S., FLORU I., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Optimisation of preventive maintenance strategies in a semiconductor batch plant.
Computers and chemical engineering Journal, 2003, Vol. 27, Pp. 449-467

DEDIEU S., PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S.
Design and retrofit of multiobjective batch plants via a multicriteria genetic algorithm
Computers and Chemical Engineering Journal, 2003, Vol. 27, Pp. 1723-1740

ELGUE S., CABASSUD M., PRAT L., LE LANN J-M., CEZERAC J.
A global Approach for the optimisation of Batch Reaction-separation Processes
Computer- Aided Chemical Engineering, 2003, 13, Pp. 641-647

ELGUE S., LE LANN J-M., CABASSUD M., CEZERAC J.
Influence of the optimisation approach on the determination of operating conditions of batch global syntheses
Chemical and Biochemical Engineering quaterly, 2003, N° 17, Vol. 1, Pp. 43-53

GOURC D., BOUGARET S., LACOSTE G.
Le management de l'incertitude dans les projets de conception de nouveaux produits: Une approche originale basée sur la spéculation menace/opportunité
Revue internationale de Gestion et management de projets, 2003

HADJKALI M., GERBAUD V., JOULIA X., BOUTIN A., UNGERER P., MIJOULE C., ROQUES J. Application of molecular simulation in the Gibbs Ensemble to predict liquid-vapor equilibrium curve of acetonitrile
Computer Aided Chemical Engineering, 2003, Vol. 14, Pp. 653-658

HADJKALI M., GERBAUD V., JOULIA X., LAGACHE M., BOUTIN A., UNGERER P., MIJOULE C., DUFAURE C.
Prediction of liquid-vapor equilibrium by molecular simulation in the Gibbs ensemble: application to nitriles
Chemical Engineering Transactions, 2003, Vol. 3, Pp. 1399-1404

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., CABASSUD M., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
A general framework for pellet reactor modelling: Application to P-recovery. Part A: Chemical Engineering Research and design
Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 2003, Vol. 81, Num. 9, Pp. 1271-1278

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Modelling of the coupling hydrodynamic transfer for a gas-liquid countercurrent flow on a wavy surface
Chemical Engineering Science, 2003, Vol. 58, Pp. 2705-2714

PERRET J., HETREUX G., LE LANN J-M.
Formalisme orienté objet pour la simulation dynamique des procédés chimiques
Revue de l'Electricité et de l'Electronique (R.E.E.), 2003, Vol. 9, Pp. 71-77

PERRET J., THERY R., HETREUX G., LE LANN J-M.
Object-Oriented Components for Dynamic Hybrid Simulation of a reactive Distillation Process
Computer- Aided Chemical Engineering, 2003, Vol. 13, Pp. 845-850

RIBEIRO R., RODRIGUEZ A., ZARATE P.
Numéro spécial des travaux présentés lors des 11èmes et 12èmes rencontres du Euro Working Group on DSS 2003
European Journal of Operational Research (EJOR), 2003, Vol. 145, Num. 2

RODRIGUEZ-DONIS I., ACOSTA-ESQUIJAROSA J., GERBAUD V., JOULIA X.
Heterogeneous Batch Extractive Distillation of Minimum Boiling Azeotropic Mixtures
AIChE Journal, 2003, Vol. 49, Num. 12, Pp. 3074-3083

RODRIGUEZ-DONIS I., GERBAUD V., LELKES Z., ACOSTA-ESQUIJAROSA J., PAPP K., REV E., JOULIA X., FONYO Z.
Separation of an Azeotropic Mixture by Heterogeneous Extractive Continuous Distillation
Chemical Engineering Transactions, 2003, Vol. 3, Pp. 355-360

SHAFIEI S., DOMENECH S., KOTELES R., PARIS J.
System closure in pulp and paper mills: Network analysis by genetic algorithm
Journal of Cleaner Production, 2003, Vol. 12, Num. 2, Pp. 131-135

SOUBIE J-L., ZARATE P.
Numéro spécial sur les systèmes d'information coopératifs
Revue des Techniques et Sciences Informatiques, Ingénierie des Systèmes d'Information (RTSI-ISI), Lavoisier, 2003, Num. 2, Vol. 8

ZARATE P.
Numéro spécial de travaux présentés lors de la 12ème mini Euro Conférence des 2-5 avril 2002
Journal of Decision Systems (JDS), Hermès Lavoisier, 2003, Vol. 12, Num. 3 et 4

2004

ALLOULA K., BELAUD J-P., LE LANN J-M.
Extended mathematical software library for CAPE
Computer-Aided Chemical Engineering, Elsevier, 2004, Vol. 18, Pp. 1015-1020

BELAUD J-P.
An education program involving CAPE-OPEN standard
CO update, Ed. CO-LaN, 2004, Vol. 8

ELGUE S., PRAT L., CABASSUD M., LE LANN J-M., CEZERAC J.
Dynamic models for start-up operations of batch distillation columns with experimental validation Computers & Chemical engineering, 2004, Vol 28, Issue 12

ELGUE S., PRAT L., COGNET P., CABASSUD M., LE LANN J-M., CEZERAC J.
Influence of solvent choice on the optimisation of a reaction-separation operation:application to a Beckmann rearrangement reaction
Separation and Purification Technology, 2004, Volume 34, Issues 1-3

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., CABASSUD M., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Some guidelines for pH control of a P-recovery pellet reactor
Special Issue of Phosphorus Research Bulletin, 2004, Vol. 15

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., DAVIN A., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Use of genetics algorithms and gradient based optimization techniques for calcium phosphate precipitation
Chemical Engineering and Processing, 2004, Vol. 43, Pp. 1289-1298

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
A systemic approach for pellet reactor modelling:application to water treatment
AICHE Journal, 2004, Vol. 50, Num. 10, Pp. 2513-2524

PERRET J., HETREUX G., LE LANN J-M.
Integration of an object formalism within a hybrid dynamic simulation environment
Control Engineering Practise, Elsevier, 2004, Vol. 12/10, Pp. 1211-1223

SHAFIEI S., DOMENECH S., KOTELES R., PARIS J.
System closure in an integrated newsprint mill, illustrative application of the genetic algorithm
Pulp & Paper Canada Journal, 2004, Vol. 105, Num. 6, Pp. 40-43,

THERY R., LLOVELL F., MEYER X., GERBAUD V., JOULIA X.
Modelling of a dynamic multiphase flash: the positive flash. Application to the calculation of ternary diagrams
Computers and chemical engineering, 2004, 0098-1354, Vol. 28, Num.12, Pp. 2469-2480

ZARATE P., SOUBIE J-L.
An overview of supports for collective decision making
Journal of Decision Systems, Hermès Lavoisier, 2004, Vol. 13, Num. 2, Pp. 211-221

2005

CAMILLERI G., SOUBIE J-L., ZARATE P.
Critical situations for decision making: a support based on a modelling tool
Group Decision and Nagotiation Journal, Kluwer, 2005, (à paraître)

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Management de l'Innovation et Gestion des Connaissances aspects Conceptuels de la synergie TRIZ – Raisonnement à partir de cas
Revue Française de Gestion Industrielle, 2005 (à paraître)

DIETZ A., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
A framework dor multiproduct batch plant design with environmental considerations: Application to protein production
Industrial and Engineering Chemistry Research, 2005, (2005), 44, Pp. 2191-2206

HAIT A., BAPTISTE P.
Ordonnancement d'atelier et ressources humaines: affectation des opérateurs dans un flowshop
Journal Européen des Systèmes Automatisés, 2005, Vol. 39, Num. 5-6, Pp.767-794

MONTASTRUC L., DOMENECH S., PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C.
Méthodologie d'étude et de modélisation de la déphosphatation d'effluents aqueux
The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2005, Vol. 83, Pp. 742-754

MONTASTRUC L., DOMENECH S., PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C.
Validation expérimentale d'un modèle thermodynamique pour la précipitation de phosphates de calcium en lit fluidisé
Environmental Technology, 2005, Vol. 26, N°6, Pp. 683-694

PIBOULEAU L., DOMENECH S., DAVIN A., AZZARO-PANTEL C.
Expérimentations numériques sur les variantes et paramètres de la méthode du recuit simulé
Chemical Engineering Journal, 2005, Vol. 105, Pp. 117-130

RODRIGUEZ-DONIS I., ACOSTA-ESQUIJAROSA J., GERBAUD V., PARDILLO-FONTDEVILA E., JOULIA X.
Separation of n-hexane - ethyl acetate mixture by azeotropic batch distillation with heterogeneous entrainers
Chemical engineering and processing, 2005, Vol. 44, Num. 1, Pp. 131-137

SOUBIE J-L., ZARATE P.
Use of cooperative systemes for distributed decision making
Group Decision and Negotiation Journal, Kluwer, 2005, (à paraître)

THERY R., MEYER X-M., JOULIA X.
Analyse de faisabilité, synthèse et conception des procédés de distillation réactive: état de l'art et analyse critique
The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2005, Vol. 83, Pp. 1-25

THERY R., MEYER X-M., JOULIA X.
Preliminary design of reactive distillation columns
Chemical Engineering Research and Design, 2005, Vol. 83, Pp. 1-22

OUVRAGES SCIENTIFIQUES

2002

BELAUD J-P. (co-auteur)
Part III: Framework for CAPE tools. Numerical solvers
Software architectures and tools for computer aided process engineering
672 pages, Pp. 323-328., 0-444-50827-9
R. Gani et B.L. Braunschweig, Elsevier, 2002

BELAUD J-P. (co-auteur)
Part IV - Making CAPE tools - The CAPE-OPEN standard: Motivations, development process, technical architecture and examples
Software architectures and tools for computer aided process engineering
672 pages, Pp. 303-322, 0-444-50827-9
R. Gani et B-L. Braunschweig, Elsevier, 2002

BELAUD J-P. (co-auteur),
Part IV: Making CAPE tools - Method & tools for software architecture
Software architectures and tools for computer aided process engineering
672 pages, Pp. 229-266, 0-444-50827-9
R. Gani et B-L. Braunschweif, Elsevier, 2002

BLAY FORNARINO M., PINNA DERY A-M., SCHMIDT K., ZARATE P.
Cooperative Systems Design: A challenge on the mobility age
Vol. 74, 1 58603-244 5
IOS Press, Frontiers in articial intelligence and applications, 2002

2004

ALLIET GAUBERT M., GERBAUD V., JOULIA X., SERE PEYRIGAIN P., PONS M.
Distillation hétéroazéotropique continue (chapitre 10)
Pp. 301-331
Méthodes de Génie Chimique. Etude de cas
Hermes Science-Lavoisier (Paris), 2004

AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Modélisation et optimisation du fonctionnement d'ateliers discontinus. Application à l'ordonnancement d'ateliers de fabrication de composants électroniques.
Méthode de Génie des Procédés. Etude de cas
Hermes Science-Lavoisier (Paris), 2004

FLOQUET P., LAQUERBE C., DOMENECH S.
Ventilation industrielle. Démarches anciennes et plus récentes en génie des procédés.
Méthode de Génie des Procédés. Etude de cas.
Hermes Science-Lavoisier (Paris), 2004

2005

AZZARO-PANTEL C.
Ordonnancement et conception d'ateliers discontinus
Techniques de l'Ingénieur, AG 3010, Pp. 1-12, 2005

BAPTISTE P., GIARD V., HAIT A.,SOUMIS F.
Gestion de production et ressources humaines. Méthodes de planification dans les systèmes productifs
Presses Internationales Polytechnique, Montréal, 2005

COMMUNICATIONS AVEC ACTES (et comité de lecture)

2001

AZZARO-PANTEL C., CHARLES A-S., DOMENECH S., PIBOULEAU L., FLOQUET P., JAUME D.
Maintenance policy studies by failure modelling in semiconductor manufacturing
Comm. 6th World Congress of Chemcial Engineering, MELBOURNE (Australie), 23-27.09.01

BONAILLIE L., MEYER X.M., WILHELM A.M.
Teaching reactive distillation: experimental results and dynamic simulation of a pedagogical batch pilot plant
Comm. International Symposium Multifunctional Reactors 2, NUREMBERG (Allemagne), 26-28.06.01

CHARLES A-S., AZZARO-PANTEL C., JAUME D., PIBOULEAU L., FLOQUET P., DOMENECH S.
Le simulateur MELISSA-C++ pour la modélisation des aléas d'un atelier discontinu d'élaboration de semiconducteurs
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol.15, num.82, Pp. 270-280

COSTES M., HAIT A., GIACOMETTI A., LACOSTE G.
Modélisation du cycle du combustible électronucléaire pour l'élaboration de scénarios de développement à long terme
Comm. 4ème Congrès International de Génie Industriel, GI2001, AIX EN PROVENCE (France), 12-15.06.01

COSTES M., HAÏT A., GIACOMETTI A., LACOSTE G.
Modélisation du cycle du combustible nucléaire pour l'élaboration de scénarios à long terme
Comm. 4ème Congrès International de Génie Industriel, GI2001, AIX EN PROVENCE (France), 12-15.06.01

DAVIN A., PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C., FLOQUET P., DOMENECH S.
Une procédure d'optimisation intelligente en génie des procédés: un algorithme génétique dopé
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol.15, num.82, Pp. 317-325

Département Procédés et Systèmes Industriels (PSI)

DEDIEU S., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Un algorithme génétique multicritère pour la conception ou le remodelage d'atelier multiobjectifs de chimie fine
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol.15, num.82, Pp. 301-308

ELGUE S., CABASSUD M., PRAT L., LE LANN J-M., CASAMATTA G., CEZERAC J.
Optimisation of global pharmaceutical syntheses integrating environmental aspects
Comm. ESCAPE'11, KOLDING (Danemark), 27-30.05.01

FLOQUET P., LABORDE J-C., LHOSTE C., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Logique floue et modélisation des réseaux de ventilation dans l'industrie nucléaire
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol.15, num.82, Pp. 253-260

FLOQUET P., LAQUERBE C., LABORDE J-C., SOARES S., DOMENECH S.
Air flow distribution in ventilated rooms: RTD model synthesis based on simulated annealing and CFD
Comm. 1st International Congress on Tracers and Tracing Methods, NANCY (France), 29-31.05.01, Vol.15, num.79, Pp.129-135

HETREUX G., PERRET J.
Structure de décision pour l'ordonnancement de procédés discontinus
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol.15, num.82, Pp. 293-300

LIM Y-I., MEYER X-M., LE LANN J-M., JOULIA X.
Dynamic simulation of batch crystallization process by using moving finite difference method
Comm. European Symposium on Computers Aided Process Engineering, ESCAPE'11, KILDING (Denmark), 27-30.05.01

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Modélisation du couplage Hydrodynamique-Transferts de matière et de chaleur pour une nouvelle technologie d'absorbeur à contre-courant
Comm. 10ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01

SHAFIEI S., DOMENECH S., KOTELES R., PARIS J.
System closure in pulp and paper mills: network analysis by genetic algorithm
Comm. 4th Conference on Process Integration Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction, FLORENCE (Italy), 20-23.05.01, Pp.370-375

SHAFIEI S., FLOQUET P., DOMENECH S., PARIS J.
Pulp and paper network analysis by genetic algorithm.
Comm. Mathematical programming and process simulation TAPPI SAN ANTONIO (Texas USA), 16-20.09.01

SOARES S., LABORDE J-C., DOMENECH S., FLOQUET P.
Simulation of air flow distribution in rooms by a systemic approach
Comm. 1st International Congress on Tracers and Tracing Methods, NANCY (France), 29-31.05.01, Vol.15, num.79, Pp.515-522

SPERANDIO M., FLOQUET P., DIGNEY W., MAURET M., PAUL E.
Diagnostic multivariable et contrôle d'un procédé biologique d'épuration des eaux
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol.15, num.82, Pp. 83-90

TEULIER BOURGINE R., ZARATE P.
Vers une problématique de l'aide à la décision utilisant les connaissances
Comm. Conférence en Ingénierie des Connaissances IC'01, GRENOBLE (France), 25-27.06.01, Pp. 147-166

THERY R., MEYER X-M., JOULIA X.
A methodology for the feasibility analysis and the design of reactive distillation processes
Comm. Icheap'5, 5th Italian Conference on Chemical Engineering, FLORENCE (Italy), 20-23.05.01

THERY R., MEYER X.M., JOULIA X.
Méthodologie pour l'analyse de faisabilité et la conception de procédés de distillation réactive
Comm. 10ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 82, Pp. 81-55

2002

BELAUD J-P., BRAUNSCHWEIG B-L., HALLORAN M., IRONS K., PINOL D., VON WEDEL L.
Processus de standardisation pour l'interopérabilité des composants logiciels de l'industrie des procédés, système d'information modélisation, optimisation commande en génie des procédés
Comm. Congrès Systèmes d'Information, Modélisation, Optimisation SIMO'2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

BRANDAM C., MEYER X-M., PROTH J., STREHAIANO P., PINGAUD H.
Un modèle stoechio-cinétique pour l'hydrolyse de l'amidon lors du brassage de la bière: un outil pour la commande optimale du procédé
Comm. SIMO'2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

DEDIEU S., AZZARO-PANTEL C., DIETZ A., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Multiobjective design and retrofit of a large size chemical batch plant by a genetic algorithm
Comm. SIMO 2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

LIM Y., LE LANN J-M., JOULIA X.
Moving mesh generation with a sequential approach for solving PDEs
Comm. European Symposium of the Working Party on Computer-Aided Process Engineering of the European Federation of Chemical Engineering ESCAPE-12, (The Netherlands), 26-29.05.02, Vol. 10, Pp. 907-912

LLOVELL F., THERY R., GERBAUD V., MEYER X-M., JOULIA X.
Computational of heterogeneous residue curve maps through the dynamic simulation of a V, L, VL, LL or VLL stage using a single formulation: the positive flash model
Comm. SIMO'2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

MITSIOUK A., HAÏT A., HETREUX G., LE LANN J-M.
Plateforme DISCo pour la simulation des systèmes dynamiques hybrides: état des lieux et perspectives
Comm. SIMO'2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

PERRET J., HETREUX G., LE LANN J-M.
Composants orientés objet pour la simulation dynamique de procédés, aspects hybrides
Comm. Congrès Systèmes d'Information, Modélisation, Optimisation, SIMO'2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

SHAFIEI S., DAVIN A., DOMENECH S., PARIS J.
Application of genetic algorithm to the mass exchange networks
Comm. 52ème Canadian Conference of Chemical Engineering (3ème Int. Symposium on process integration), VANCOUVER (Canada), 20-23.10.02

SHAFIEI S., DOMENECH S., KOTELES R., PARIS J.
System closure in an integrated newsprint mill. Practical application of the genetic algorithm
Comm. 15th International congress of Chemical and Process Engineering, PRAGUE (Rep. Tchèque), 25-29.08.02, and 88th annual Conference PAPTAC, MONTREAL (Canada), 31.01.02, Pp. 183-187

SHAFIEI S., DOMENECH S., PARIS J.
Mass exchange networks analysis and its application to system closure
Comm. PAC WEST Conference, JASPER, ALBERTA (USA), 31.05.02

SHAFIEI S., DOMENECH S., PARIS J.
Water management in pulp and paper processes: the next stepComm. PAPTAC Midwest Branch An. Meeting, THUNDER BAY (Canada), 22-24.09.02

THERY R., GERBAUD V., MEYER X-M., JOULIA X.
Dynamic simulation of a V, L, VL, LL or VLL stage using a single formulation: the positive flash
Comm. European Symposium of the Working Party on Computer-Aided Process Engineering of the European Federation of Chemical Engineering ESCAPE-12, (The Netherlands), 26-29.05.02, Vol. 10

THERY R., MEYER X-M., JOULIA X.
Environnement orienté objet pour la simulation dynamique d'un procédé de distillation réactive
Comm. SIMO'2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

THERY R., PERRET J., HETREUX G., LE LANN J-M., JOULIA X.
Bibliothèque orientée objet pour la simulation dynamique: architecture et mise en œuvre
Comm. SIMO'2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

ZARATE P.
Collective decision making: which supports for which situations ?
Comm. International Conference on Decision Making and Decision Support in the Internet Age (DSI-Age 2002), IFIP TC8/WG 8.3, CORK (Irlande), 4-7.07.02, Pp. 96-106

2003

BRANDAM C., MEYER X-M., STREHAIANO P., DALLIES N., PROTH J.
Extension d'un modèle d'hydrolyse de l'amidon à l'utilisation de céréales non maltées et aux ajouts d'enzymes exogènes
Comm. 12ème Congrès Français de Génie des Procédés, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

CAMILLERI G., SOUBIE J-L., ZARATE P.
Critical situations for decision making: a support based on a modelling tool, DSS in the uncertainty of the internet age
Comm. 7th International Conference of the Internationsl Society for DSS ISDSS'03, USTRON (Pologne), 13-16.07.03, Pp. 469-480

CAMILLERI G., SOUBIE J-L., ZARATE P.
Critical context for decision making: a modelling approach based on a re-planning tool
Comm. 7th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information & Engineering Systems KES'2003, OXFORD (UK), 03-05.09.03, Pp. 53-58

DIETZ A., AZZARO-PANTEL C., DAVIN A., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Un algorithme génétique pour l'aide à la décision: application à la conception d'ateliers discontinus
Comm. Congrès SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03, ISBN 2-910239-64-0

GOLDSTEIN S., BORGARD J-M., JOULIA X., FLOQUET P., GUITTARD P.
Thermodynamic aspects of the iodine-sulphur thermochemical cycle
Comm. AIChE Spring 2003 National Meeting, 30.03-03.04.03

HADJ-KALI M-K., GERBAUD V., JOULIA X., BOUTIN A., UNGERER P., MIJOULE C., ROQUES J.
Application of molecular simulation in the gibbs ensemble to predict liquid-vapor equilibrium curve of acetonitrile
Comm. European Symposium of the Working Party on Computer-Aided Process Engineering of the European Federation of Chemical Engineering ESCAPE-13, LAPPEENRANTA (Finland), 01-04.06.03, Vol. 14, Pp. 653-658

HOCINE S., ELGUE S., MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., CABASSUD M., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
A hybrid optimization method (GA/SQP) for methyl acetate production process by reactive batch distillation
Comm. The Sixth Conference on Chemical and Proc Ichea-6ess Engineering, PISA (Italy), 08-11.06.03, Vol. 3, Num. 1, Pp. 1129-1135

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., CABASSUD M., DOMENECH S.
A general framework for pellet reactor modelling: Application to P-recovery
Comm. SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., DAVIN A., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
A hybrid optimization technique for improvement of P-recovery in a pellet reactor
Comm. ESCAPE 13, LAPPENRENTHA (Finland), 04-06.06.03, Pp. 779-784

MOREAU A., MEYER X-M., PINGAUD H., STREHAIANO P.
Croissance de brevibacterium linens sur substrat mixte: analyse métabolique
Comm. 12ème réunion du Club des Bactéries Lactiques, AURILLAC (France), 19-21.05.03

MOREAU A., MEYER X-M., PINGAUD H., STREHAIANO P.
Croissance de brevibacterium linens sur substrat mixte: développement d'un modèle stoechio-cinétique
Comm. 12ème réunion du Club des Bactéries Lactiques, AURILLAC (France), 19-21.05.03

PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S.
Conception et remodelage d'unités chimiques dans un environnement multicritère
Comm. 5ème Congrès International de Génie Industriel, QUEBEC City (Canada), 26-29.10.03, ISBN 2-9808240-0-3

PONSICH A., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Conception optimale d'ateliers discontinus multiproduits
Comm. Congrès SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03, ISBN 2-910239-64-0

RODRIGUEZ-DONIS I., GERBAUD V., LELKES Z., PAPP K., REV E., JOULIA X., FONYO Z.
Separation of azeotropic mixtures by heterogeneous extractive continuous distillation
Comm. ICheaP-6, the sixth Italian Conference on Chemical and Process Engineering, PISA (Italy), 08-11.06.03

SANDOVAL A., HAÏT A.
Méthodologie pour les projets d'établissement d'une entreprise dans un pays étranger
Comm. 5ème Congrès International de Génie Industriel, QUEBEC City (Canada), 26-29.10.03

SHAFIEI S., FLOQUET P., DAVIN A., DOMENECH S., PARIS J.
White water network optimization in pulp and paper industry
Comm. Ichea-6 Chemical Engineering Transaction, PISA (Italy), 08-11.06.03, Vol. 3, Pp. 1149-1154

SOUBIE J-L., ZARATE P.
Use of cooperatvie systems for distributed decision making: DSS in the uncertainty of the internet age
Comm. 7th International Conference of the International Society for DSS ISDSS'03, USTRON (Pologne), 13-16.07.03, Pp. 179-390

THERY R., MEYER X-M., JOULIA X.
Approche séquentielle et hiérarchisée pour la conception de procédés de distillation réactive
Comm. 12ème Congrès Français de Génie des Procédés, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

THERY R., MEYER X-M., MEYER M., JOULIA X.
Feasability analysis, synthesis and design of reactive distillation processes
Comm. International Rhodia Conference, LYON (France), 05-17.07.03

2004

ALVES R-M-B., NASCIMENTO C-A-O., LOURIERO L-V., FLOQUET P., JOULIA X.
Multi-objective optimization of industrial nylon 6, 6 polymerization process in a twin-screw extruder reactor using genetic algorithm approach
Comm. 16th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2004, PRAHA (Czech Rep.), 22-26.08.04

BELAISSAOUI B., MEYER X-M., GERBAUD V., JOULIA X.
Feasability analysis and design of reactive distillation processes involving vapour phase chemical reactions
Comm. 16th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2004, PRAHA (Czech Rep.), 22-26.08.04

BONET J., CALVET A., GALAN M., COSTA J., THERY R., MEYER X-M., MEYER M., GERBAUD V.
Shorcut design of single feed reactive columns: minimum reflux, optimum reflux and number of plates
Comm. CHISA'2004, PRAHA (Czech Rep.), 22-26.08.04

BONET J., THERY R., MEYER X-M., MEYER M., GERBAUD V., COSTA J., GALAN M.
Discrimination of reactive distillation processes via residue curve maps: application to a transesterification reaction
Comm. ESCAPE'14, LISBON (Portugal), 16-19.05.04

BRANDAM C., MEYER X-M., STREHAIANO P., PINGAUD H.
A kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during beer mashing
Comm. International Congress on Bioprocesses in Food Industries, CLERMONT-FERRAND (France), 11-13.07.04

BREZILLON P., ZARATE P.
Group decision making: A context oriented view, Decision support in an uncertain and complex world
Comm. IFIP WG8.3 International Conference on Decision Support System DSS 2004, PRATO (Italy), 16.07.04, Pp. 123-133

CORDOVA LOPEZ E., CORTES ROBLES G., NEGNY S., LACOSTE G., LE LANN J-M.
Utilisation de la Théorie TRIZ en vue du développement d'une méthodologie contribuant au Management de l'Innovation dans le chaîne Logistique Produit-Procédé-Processus
Comm. GDR Macs, AIX EN PROVENCE (France), 21-22.10.04

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Management de l'Innovation et Gestion des Connaissances aspects Conceptuels de la synergie TRIZ – Raisonnement à partir de cas
Comm. 2ème Colloque C2EI, NANCY (France), 30.10.04

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Knowledge Management and TRIZ: A Model for knowledge Capitalization and Innovation
Comm. ETRIA: TRIZ future 2004, FLORENCE (Italy), 30.11.04

DARGAM F., GACHET A., ZARATE P., BARNHART T.
DSSs for planning distance education: A case study, Decision support in an uncertain and complex world
Comm. IFIP WG8.3 International Conference on Decision Support Sysems DSS 2004, PRATO (Italy), 16.07.04, Pp. 169-179

DIETZ A., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Integrating Environmental impact minimization into batch plant design: Application to protein production
Comm. ESCAPE-14, LISBON (Portugal), 16-19.05.04, Vol. 18, Pp. 1033-1038

DIETZ A., PONSICH A., AZZARO-PANTEL C., DAVIN A., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Optimisation systémique multicritère d'ateliers discontinus multi-produits: Application aux productions biotechnologiques
Comm. 16èmes rencontres scicientifiques et technologiques des industries alimentaires. AGORAL, NANTES (France), 30.11-01.12.04, Pp. 306-312

HADJ-KALI M-K., GERBAUD V., JOULIA X., BOUTIN A., UNGERER P.
Direct calculation of azeotropic points by Monte Carlo simulation
Comm. 16th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2004, PRAHA (Czech Rep.), 22-26.08.04

HAIT A., BAPTISTE P., MUSZKAT MENEZES T.
Influence de l'efficacité des opérateurs sur l'ordonnancement d'atelier
Comm. 5ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM'04, NANTES (France), 01-03.09.04

Département Procédés et Systèmes Industriels (PSI)

MUSZKAT MENEZES T., BAPTISTE P., HAÏT A.
Impact of operators' efficiency on shop scheduling
Comm. 33rd International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE2004, JEJU (Corée), 03.04

PONSICH A., AZZARO-PANTEL C., DAVIN A., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Etude des performances de méthodes d'optimisation mathématique et stochastiques: Application à la conception optimale d'ateliers discontinus
Comm. 10èmes Journées Nationales pour la Résolution Pratique de Problèmes NP-Complets, ANGERS (France), 04.06.04, Pp. 283-298

PONSICH A., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Comparaison de l'efficacité de méthodes d'optimisation mathématique et métaheuristique: Application à la conception de procédés discontinus
Comm. 5ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM 04, NANTES (France), 01-03.09.04, Vol. 1, Pp. 379-386

THERY R., MEYER X-M., JOULIA X.
A sequential and hierarchical approach for the feasability analysis and the preliminary synthesis and design of reactive distillation processes
Comm. 37th European Symposium of the Working Party on Computer-Aided Process Engineering ESCAPE-14, LISBON (Portugal), 16-19.05.04, Vol. 18, Pp. 505-510

2005

ALVES R-M-B., NASCIMENTO C-A-O., LOURIERO L-V., FLOQUET P., JOULIA X.
Multi-objective optimization of an industrial isoprene production unit by using genetic algorithm approach
Comm. 38th European Symposium of the Working Party on Computer-Aided Process Engineering ESCAPE-15, BARCELONA (Spain), 30.05-01.06.05

BELAISSAOUI B., THERY R., MEYER X-M., MEYER M., GERBAUD V., JOULIA X.
Procédé de distillation réactive en phase vapeur pour la production d'hydrogène par décomposition de HI à partir de solutions de H20/HI/I2
Comm. 10ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Triz and Case-Based Reasoning: a powerful synergy,
Comm. TRIZCON, BRIGHTON (UK), 30.04.05

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Gestion de l'innovation et gestion des connaissances: utilisation de TRIZ en gestion des connaissances
Comm. 6e Congrès International de Génie Industriel, GI2005, BESANÇON (France), 06.05

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Management of innovation in Chemical Engineering with TRIZ theory
Comm. 7th World Congress of Chemical Engineering SECC, GLASGOW (UK), 10-14.07.05

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Utilisation de la théorie d'innovation TRIZ en Génie des Procédés
Comm. 10ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

CORTES ROBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M., LACOSTE G.
L'innovation industrielle par la théorie TRIZ: Application en Procédés et Systèmes Industriels
Comm. 6e Congrès International de Génie Industriel, GI2005, BESANÇON (France), 06.05

DAVIN A., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Paramétrisation d'un algorithme génétique en génie des procédés
Comm. 73ème congrès de l'ACFAS, CHICOUTIMI QUEBEC (Canada), 9-13.05.05

DIETZ A., SCHIRLIN M., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Multicriteria optimization of batch plant design and retrofit: application to an industrial fine chemistry case study
Comm. IcheaP-7, The Seventh Italian Conference on Chemical and process Engineering, GIARDINI NAXOS (Italy), 15-18.05.05

HAÏT A., TREPANIER M., BAPTISTE P.
Models for integrated resource and operation scheduling
Comm. ESCAPE 15, BARCELONA (Spain), 29.05-01.06.05

HOCINE S., PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S.
Modeling a fluidized bed for water treatment via GAMS package
Comm. IcheaP-7, The Seventh Italian Conference on Chemical and process Engineering, GIARDINI NAXOS (Italy), 15-18.05.05

MITSIOUK A., NEGNY S., HAIT A., LE LANN J-M.
Optimisation des systèmes dynamiques continus. Application en Génie Industriel à l'élaboration de scénarios
Comm. 10ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

POMMIER S., MASSEBEUF S., GERBAUD V., BAUDOUIN O., BAUDET P., JOULIA X.
Heterogeneous batch distillation processes: real system optimisation
Comm. 38th European Symposium of the Working Party on Computer-Aided Process Engineering ESCAPE-15, BARCELONA (Spain), 30.05-01.06.05

RODRIGUEZ-DONIS I., VARGA V., GERBAUD V., LELKES Z., REV E., FONYO Z., JOULIA X.
Feasability study of heterogeneous batch extractive distillation
Comm. 38th European Symposium of the Working Party on Computer-Aided Process Engineering ESCAPE-15, BARCELONA (Spain), 30.05-01.06.05

RODRIGUEZ-DONIS I., VARGA V., GERBAUD V., LELKES Z., REV E., FONYO Z., JOULIA X.
Etude de faisabilité de la distillation extractive discontinue hétérogène
Comm. 10ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

SHAFIEI S., FLOQUET P., DOMENECH S., PARIS J.
Genetic algorithm reliability for white water network optimization in pulp and paper industry
Comm. IcheaP-7, The Seventh Italian Conference on Chemical and process Engineering, GIARDINI NAXOS (Italy), 15-18.05.05

TREPANIER M., BAPTISTE P., HAÏT A., ARCIENAGAS ALVAREZ I.
Modélisation des impacts du délestage énergétique sur la production
Comm. 6e Congrès International de Génie Industriel, GI2005, BESANÇON (France), 06.05

COMMUNICATIONS AVEC ACTES sans comité de lecture

2001

AZZARO-PANTEL C., CHARLES A-S., JAUME D., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Modélisation d'un système de production en présence d'aléas: application au cas d'un atelier industriel de fabrication de composants électroniques
Comm. 2ème Conférence d'Ingénierie Système –AFIS (Association Française d'Ingénierie Système), TOULOUSE (France), 26-28.06.01

DAVIN A., FLOQUET P., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Modélisation de la ventilation des locaux de traitement des produits agro-alimentaires par une approche systémique
Comm. Congrès Aéraulique et Industries Alimentaires, PARIS (France), 17-18.01.01

FLOQUET P., LAQUERBE C., SOARES S., DAVIN A., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Identification des écoulements dans une enceinte par DTS et procédure stochastique
Comm. 51ème Congrès Canadien de Génie Chimique, HALIFAX (Canada), 14-17.10.01

FLOQUET P., PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S.
Mise en oeuvre de l'arithmétique floue pour modéliser les temps d'intervention des opérateurs dans un atelier discontinu
Comm. 69ème Congrès de l'Acfas, SHERBROOKE (Canada), 14-17.05.01

FRANCHINI L., CAILLAUD E., LACOSTE G.
Aide à la décision pour la gestion des opérateurs en production: modélisation, planification et suivi
Comm. 2ème rencontre Stratégie d'Innovation dans une Economie de l'Immatériel: Mobiliser les compétences et les connaissances-approches nouvelles et outils de représentation, PARIS (France), 01.04.01

HETREUX G.
Outil d'aide à la décision pour l'ordonnancement de procédés discontinus basé sur la simulation dynamique hybride
Comm. Séminaire Ordonnancement et Affectation, TOULOUSE (France), 08.06.01

HETREUX G., LE LANN J-M.
Outil d'aide à la décision pour l'ordonnancement de procédés batch basé sur la simulation dynamique hybride
Comm. Journée IEP thème Ordonnancement, CHATENAY-MALABRY (France), 07.02.01

PIBOULEAU L., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., FLOQUET P.
Optimisation de l'ordre de lancement des produits dans un atelier discontinu de fabrication de composants électroniques
Comm. 69ème Congrès de l'Acfas, SHERBROOKE (Canada), 14-17.05.01

SHAFIEI S., DOMENECH S., KOTELES R., PARIS J.
Fermeture des circuits papetiers: analyse des réseaux par algorithme génétique
Comm. 69ème Congrès de l'Acfas, SHERBROOKE (Canada), 14-17.05.01

SHAFIEI S., DOMENECH S., KOTELES R., PARIS J.
System closure in pulp and paper mills as an optimization problem: a novel approach
Comm. 51ème Congrès Canadien de Génie Chimique, HALIFAX (Canada), 14-17.10.01

ZARATE P.
Systèmes d'aide à la décision
Comm. Séminaire GRACQ " Ingénierie des Connaissances et Aide à la Décision ", PARIS (France), 25.01.01

ZARATE P.
Typology of collective decision making
Comm. 12th Meeting of the Euro Working Group on DSS, CAISCAS (Portugal), 18-20.05.01

ZARATE P.
Des SIAD aux systèmes coopératifs
Comm. Ecole des Mines d'Albi Carmaux Département Génie Industriel, ALBI (France), 01.12.01

2002

ROUX P., BELAUD J-P., PONS M.
Open bed-reactor modelling software component
Comm. 15th International Congress of Chemical and Process Engineering, PRAHA (Czech Republic), 01.08.02

ZARATE P.
Collective decision making
Comm. 12th Mini Euro Conference, BRUXELLES (Belgique), 02-05.04.02

2003

AGUILAR A., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S., DAVIN A.
Conception optimale d'ateliers discontinus avec demandes incertaines
Comm. Congrès SFGP 2003, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

ATMANIOU L., DIETZ A., AZZARO-PANTEL C., ZARATE P., DOMENECH S., LE LANN J-M., PIBOULEAU L.
Comparaison de deux approches d'aide à la décision multicritère pour la conception d'ateliers discontinus de chimie fine
Comm. 5ème Congrès International de Génie Industriel, QUEBEC City (Canada), 26-29.10.03

BELAUD J-P., BRAUNSCHWEIG B-L.
CAPE-OPEN: interopérabilité de composants logiciels pour la modélisation
Comm. Congrès international de procédés physico-chimiques, 16th international Conference "Software & Systems Engineering and their applications", PARIS (France), 01.12.03

BELAUD J-P., PONS M., BANKS P., IRONS K., MERK W.
Missions of the CAPE-OPEN laboratories network
Comm. Foundations of computer-aided process operations, CORAL SPRINGS (USA), 12-15.01.03

BERARD F., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Production planning strategic framework for batch plants
Comm. ESCAPE 13, LAPPENRENTHA (Finland), 04-06.06.03

GUERRA D., RICCIARDI L., LABORDE J-C., DOMENECH S.
Modélisation du transfert d'un aérocontaminant dans un local ventilé, en champ proche d'une source d'émission
Comm. Congrès Français Aérosols, PARIS (France), 10-11.12.03

HETREUX G.
Development of a general framework for dynamic hybrid systemes: object-oriented components
Comm. CAPE Forum, TOULOUSE (France), 20-21.02.03

HETREUX G., PERRET J., LE LANN J-M.
Bibliothèque orientée objet pour la conception de simulateurs hybrides
Comm. 9ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

HETREUX G., PERRET J., LE LANN J-M.
Modélisation et simulation dynamique des procédés à l'aide d'une bibliothèque de composants objets
Comm. 5th International Industrial Engineering Conference, QUEBEC (Canada), 26-29.10.03

HOUE R., ZARATE P., VARQUEZ J., LE LANN J-M.
Mise en oeuvre de la méthodologie Gameth pour la capitalisation des connaissances au sein d'une grande organisation
Comm. 5ème Congrès Francophone de Génie Industriel GI'03, QUEBEC (Canada), 26-29.10.03

PERRET J., HETREUX G., LE LANN J-M.
Modélisation des systèmes dynamiques hybrides basée sur le formalisme Réseaux de Petri Prédicats-Transition-Différentiels-Objets 2003
Comm. 4ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation MOSIM'03, TOULOUSE (France), 23-25.04.03

PERRET J., HETREUX G., LE LANN J-M.
Object hybrid formalism for modelling and simulation of chemical processes
Comm. IFAC Conference on Analysis and design of hybrid systems ADHS'03, SAINT-MALO (France), 16-18.06.03

PERRET J., THERY R., HETREUX G., LE LANN J-M.
Object-oriented components for dynamic hybrid simulation of a reactive distrillation process
Comm. ESCAPE'13, LAPPEENRANTA (Finland), 01-04.06.03

SOUBIE J-L., ZARATE P.
Use DSS methodology for distributed decision making
Comm. Joint EURO/INFORMS Conference, ISTANBUL (Turquie), 06-10.07.03

2004

ATMANIOU L., DIETZ A., AZZARO-PANTEL C., ZARATE P., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
A multiobjective genetic algorithm optimization framework for batch plant design
Comm. PSI 2003, KUNMING, YUNNAN PROVENCE (P.R. China), 31.01.04

BERARD F., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L., FLOQUET P.
Combinatorial study of multipurpose batch plant planning
Comm. PSI 2003, KUNMING (P.R. China), 31.01.04

CORTES ROBBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Triz et le RPC: la création de cellules de connaissances
Comm. 2ème Colloque C2EI, NANCY (France), 30.10.04

CORTES ROBBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Knowledge management and TRIZ: A model for knowledge capitalization and innovation
Comm. ETRIA: TRIZ future 2004, FLORENCE (Italy), 30.11.04

DIETZ A., AZZARO-PANTEL C., DAVIN A., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
A framework for multiproduct batch plant design with environmental consideration: Application to protein production
Comm. 9th International Symposium on Computer Applications in Biotechnology (CAB9), NANCY (France), 28-31.03.04

DIETZ A., AZZARO-PANTEL C., PIBOULEAU L., DOMENECH S.
Optimal design of batch plants under economic and ecological considerations: Application to a biochemical batch plant
Comm. International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (ICCMSE) 2004, (Greece), 19-23.11.04

GUERRA D., RICCIARDI L., LABORDE J-C., DOMENECH S.
Modelling of contaminant transferts in the workplace of a ventilated room
Comm. Congrès International Radiation Protection Association, MADRID (Espagne), 26-28.05.04

GUERRA D., RICCIARDI L., LABORDE J-C., DOMENECH S.
CFD simulations applied to the assessment of pollutant transfers in process operations
Comm. CHISA, PRAGUE (Rep. Tchèque), 22-26.08.04

HETREUX G.
Formalisation d'un modèle de simulation de systèmes dynamiques hybrides: application aux procédés industriels
Comm. GDR MACS, SEE, PARIS (France), 29.01.04

HETREUX G., PERRET J., LE LANN J-M.
Component based approach for simulation of dynamic hybride systems
Comm. International Conference on Conceptual modelling and Similation CMS 2004, GENOA (Italy), 28-31.10.04

HETREUX G., THERY R., PERRET J., LE LANN J-M.
Approche composant pour la modélisation et la simulation des systèmes dynamiques hybride
Comm. 5ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM'04, NANTES (France), 01-03.09.04

Département Procédés et Systèmes Industriels (PSI)

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Mise en oeuvre d'un lit fluidisé pour la déphosphatation d'effluents aqueux
Comm. 72ème Congrès de l'ACFAS, MONTREAL (Canada), 10-14.05.04

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L., DAVIN A.
Couplage recuit simulé-programmation quadratique pour modéliser un lit fluidisé de déphosphatation d'effluents
Comm. 72ème Congrès de l'ACFAS, MONTREAL (Canada), 10-14.05.04

2005

AGUILAR-LASSERRE A., AZZARO-PANTEL C., PIBLOULEAU L., DOMENECH S.
Optimal design of multiproduct batch plants under imprecise demand
Comm. 7th World Congress of Chemical Engineering, GLASGOW (UK), 10-14.07.05

AGUILAR-LASSERRE A., AZZARO-PANTEL C., PIBLOULEAU L., DOMENECH S.
Modélisation des imprécisions de la demande en conception optimale multicritère d'ateliers discontinus
Comm. SFGP 2005, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

BAEZ SENTIES O., AZZARO-PANTEL C., PIBLOULEAU L., DOMENECH S.
Aide à la décision pour la supervision d'un atelier discontinu: Application à la fabrication de composants électroniques
Comm. SFGP 2005, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

BELAISSAOUI B., THERY R., MEYER X-M., MEYER M., GERBAUD V., JOULIA X.
Vapor reactive distillation process for hydrogen production by HI decemposition from H20/HI/I2 solutions
Comm. 7th World Congress of Chemical Engineering SECC, GLASGOW (UK), 10-14.07.05

CORTES ROBBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Triz and case-based reasoning: a powerful synergy
Comm. TRIZCON, BRIGHTON (UK), 30.04.05

CORTES ROBBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Utilisation de la théorie d'innovation TRIZ en Génie des Procédés
Comm. 10ème congrès SFGP, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

CORTES ROBBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M., LACOSTE G.
L'innovation industrielle par la théorie TRIZ: Application en procédés et systèmes industriels
Comm. 6ème congrès international de Génie Industriel, BESANCON (France), 30.06.05

HOCINE S., AZZARO-PANTEL C., BELAUD J-P., PIBLOULEAU L., DOMENECH S.
Développement d'un modèle global pour l'optimisation des procédés: application à un bassin de décantation
Comm. 10ème Congrès SFGP, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

MITSIOUK A., NEGNY S., HAIT A., LE LANN J-M.
Optimisation des systèmes dynamiques continus. Application en Génie Industriel à l'élaboration de scénarios
Comm. 10ème Congrès SFGP, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

PONSICH A., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
About the relevance of mathematic programming and stochastic optimisation methods: application to the optimal batch plant design problems
Comm. ESCAPE 15, BARCELONA (Spain), 29.05-01.06.05

PONSICH A., AZZARO-PANTEL C., DOMENECH S., PIBOULEAU L.
Stratégies de gestion des contraintes dans un algorithme génétique: application à la conception optimale d'ateliers discontinus
Comm. SFGP 2005, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

SANDOVAL A ., DUQUENNE P., HAÏT A., LE LANN J-M.
Apport méthodologique à la mise en œuvre et conception de projets
Comm. Journées Gestion de Projet et Systèmes, TOULOUSE (France), 06.05

ZARATE P., SOUBIE J-L., BUI T.
Experiment of a group multi-criteria decision support system for distributed decision making processes
Comm. Hawaii International Conference on System Science 38 HICSS38, HAWAII (USA), 03-06.01.05

COMMUNICATIONS SANS ACTES

2002

BRANDAM C., MEYER X-M., PROTH J., STREHAIANO P., PINGAUD H.
A new approach for the enzymatic modelling. Application to the beer mashing process
Comm. Foodsim 2002, BLARNEY (Irlande), 17-18.06.02

MUNOZ M., SOUBIE J-L., ZARATE P.
Dynamical man/machine interfaces
Comm. 12th Mini Euro Conference, BRUXELLES (Belgique), 02-05.04.02

ZARATE P.
Collective decision making
Comm. 12th Mini Euro Conference, BRUXELLES (Belgique), 02-05.04.02

2003

BRANDAM C., MEYER X-M., STREHAIANO P., DALLIES N., PROTH J.
Starch hydrolysis during mashing: an extended model for non-malted cereal and exogenous enzyme addition
Comm. ECCE4, GRENADE (Espagne), 21-25.09.03

CAMILLERI G., SOUBIE J-L., ZARATE P.
Critical context for decision making: an approach based on cooperative support system
Comm. Joint EURO/INFORMS Conference, ISTANBUL (Turquey), 06-10.07.03

DUQUENNE P., NICOARA B.
Le rôle de l'arborescence - produits dans la conception des projets
Comm. 5ème Congrès International du Génie Industriel, QUEBEC (Canada), 26-29.10.03

2004

BELAUD J-P.
Interopérabilité et intégration de composants logiciels pour la simulation de procédés physico-chimiques
Comm. GDR-13 VERSIM CIRAD, MONTPELLIER (France), 11.05.04

BRANDAM C., MEYER X-M., STREHAIANO P., PINGAUD H.
A stoechio-kinetic model for Brevibacterium Linens growth on mixed substrate
Comm. International Congress on Bioprocesses in Food Industries, CLERMONT-FERRAND (France), 11-13.07.04

BRANDAM C., MEYER X-M., STREHAIANO P., DALLIES N., PROTH J.
Simulation of the enzymatic hydrolysis of starch on industrial beer mashing conditions
Comm. International Congress on Bioprocesses in Food Industries, CLERMONT-FERRAND (France), 11-13.07.04

HAIT A.
Une borne inférieure pour le problème du flowshop avec efficacité des opérateurs
Comm. Journées d'optimisation de Montréal, JOPT 2004, 10-12.05.04

2005

HAIT A.
Approches intégrées des machines et opérateurs en ordonnancement d'atelier
Comm. Journées d'optimisation JOPT 2005, MONTREAL (Canada), 09-11.05.05

HETREUX G., ZARATE P., LE LANN J-M.
Système d'aide à la modélisation pour la simulation dynamique hybride des procédés
Comm. SFGP'05, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

ARTICLES DE REVUES

2001

AJZENBERG N., RICARD A.
Kinetic study by differential scanning calorimetry of the bulk copolymerization of 2-hydroxyethyl methacrylate with ethylene-glycoldim ethacrylate
Journal of Applied Polymer Science, 2001, Vol. 80, Num. 8, Pp. 1220-1228

ALBASI C., TATARIDIS P., SALGADO MANJARREZ E., TAILLANDIER P.
A new tool for the quantification of microorganisms interactions dynamics
Industrial Engineering Chemical Research, 2001, Vol. 40, Num. 23, Pp. 5222-5227

ALLIET-GAUBERT M., GERBAUD V., JOULIA X., SERE PEYRIGAIN P., PONS M.
Analysis and multiple steady-state of an industrial heterogeneous azeotropic distillation
Industrial and Engineering Chemistry Research, 2001, Vol. 40, Num. 13, Pp. 2914-2924

AMARA N., RATSIMBA B., WILHELM A-M., DELMAS H.
Crystallization of potash alum.Effect of power ultrasound
Ultrasonics-Sonochemistry, 2001, Vol. 8, Pp. 265-270

ARLT V-W. , PFOHL-LESZKOWICZ A, COSYNS J-P., SCHMEISER H-H.
Analyses of DNA adducts formed by ochratoxin A and aristolochic acid in patients with Chinese herbs nephropathy, Mutation Research
Genetic Toxicol & Env Mutag, 2001, Vol. 494, Pp. 143-150

ATRIH A., REKHIF N., MOIR A-J-C., LEFEBVRE G., LEBRIHI A.
Mode of action, purification and aminoacid sequence of plantaricin C19, an anti-Listeria bacteriocin produced by Lactobacillus plantarum
International Journal of Food Micro-biology, 2001, Vol. 68, Pp. 93-104

AUBIN J., MAVROS P., FLETCHER D-F., C., BERTRAND J., XUEREB C.
Effect of axial agitator configuration (up-pumping, down-pumping, reverse rotation) on flow patterns generated in stirred vessels
Chemical Engineering Research and Design TIChE part A, 2001, Vol. 79, Num. 8, Pp. 845-856

BARRUE H., BERTRAND J., CRISTOL B., XUEREB C.
Eulerian simulation of dense solid-liquid suspension in multi-stage stirred vessel
Journal of Chemical Engineering of Japan, 2001, Vol. 34, Num. 5, Pp. 585-594

BARRUE H., KAROUI A., LE SAUZE N., COSTES J., ILLY F.
Comparison of aerodynamics and mixing mechanisms of three mixers: Oxynator gaz-gas mixer, KMA and SMI static mixer
Chemical Engineering Journal, 2001, Vol. 38, Num. 13, Pp. 1-12

BEDOURET S., MOLINIE A., DUNNIGAN P., CASTEGNARO M., BONY M , THISSE M., LE BOULC'H V., SENG J-M., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Contribution à l'amélioration de la qualité sanitaire du blé en cours de stockage. suivi de la formation de mycotoxines. Partie 2: programme de recherche relatif à leur contamination par des champignons toxinogènes producteurs d'ochratoxine A
Phytoma, La défense des végétaux, 2001, Vol. 541, Pp. 31-37

BORSLA A., WILHELM A-M., DELMAS H.
Hydrogenation of olefins in aqueous phase, catalyzed by polymer-protected rhodium colloids: kinetic study
Catalysis Today, 2001, Vol. 66, Pp. 389-395

BOUHENCHIR H., CABASSUD M., LE LANN M-V., CASAMATTA G.
A general simulation model and a heating. cooling strategy to improve controllability of batch reactors
Chemical Engineering Research and Design TIChE part A, 2001, Vol. 79, Num. 8, Pp. 641-654

BOUILLARD J., ALBAN B., JACQUES P., XUEREB C.
Liquid flow velocity measurements in stirred tanks by Ultrasound Doppler Velocimetry
Chemical Engineering Science, 2001, Vol. 56, Pp. 747-754

BRICEVOL.M.I., SALAGER J.L., BERTRAND J.
Influence of dispersed phase viscosity on the mixing of concentrated oil-in-water emulsions in the transition flow regime
Chemical Engineering Research and Design TIChE part A, 2001, Vol. 79, Num. 8, Pp. 943-948

CAMY S., CONDORET J-S.
Dynamic modelling of fractionation of a liquid mixture using supercritical CO2
Chemical Engineering and Processing, 2001, Vol. 40, Num. 6, Pp. 499-509

CAVOL.H., GABAS N., CANSELIER J-P.
Experimental study on the ibuprofen crystal growth morphology in solution
Journal of Crystal Growth, 2001, Vol. 224, Num. 3-4, Pp. 335-341

CHEMAT F., POUX M.
Microwave assisted pyrolysis of urea supported on graphite under solvent free conditions
Tetrahedron Letters, 2001, Vol. 42, Num. 22, Pp. 3693-3696

CRACHEREAU J.C., GABAS N., BLOUIN J., HEBRARD B., MAUJEAN A.
Stabilisation tartrique des vins par la carboxymethylcellulose,(C.M.C.)
Bulletin de l 'O.I.V., 2001, Vol. 74, Num. 841-842, Pp. 151-159

CUI Z.G., CANSELIER J-P.
Interfacial and micellar properties of some anionic.cationic binary surfactant systems. II- Mixed micelle formation and surface tension reduction effectiveness
Colloid and Polymer Science, 2001, Vol. 279, Num. 3, Pp. 259-267

JAUREGUI U., DESSOUDEIX M., KALCK P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Multifactorial analysis in the study of hydroformylation of oct-1-ene using supported aqueous phase catalysis
Catalysis Today, 2001, Vol. 66, Pp. 297-302

JAUREGUY-HAZA U., WILHELM A-M., CANSELIER J-P., DELMAS H.
Adsorption of benzenesulfonic acid,3,3',3"-phosphinidyne-tris-,trisodium salt and Di(tertiobutylthiolato) dicarbonyl,bis (benzenesulfonic acid,3,3',3"-phosphinidyne-tris,trisodium salt) dirhodium from aqueous solutions on silica
Journal of Chemical and Engineering Data, 2001, Vol. 46, Pp. 281-285

JULCOUR C., JAGANATHAN R., CHAUDHARI R-V., WILHELM A-M., DELMAS H.
Selective hydrogenation of 1,5,9-cyclododecatriene in up-flow and down-flow fixed bed reactors: experimental observations and modeling
Chemical Engineering Science, 2001, Vol. 56, Num. 2, Pp. 557-564

KIAMBI S.L., DUQUENNE A-M., BASCOUL A., DELMAS H.
Measurements of local interfacial area: application of bi-optical fibre technique
Chemical Engineering Science, 2001, Vol. 56, Pp. 6447-6453

LANGE-CHEZE H., TAILLANDIER P., RIBA J-P.
Effect of shear stress on Saccharomyces cerevisiae
Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2001, Vol. 76, Pp. 501-505

LE VAN V-M., STREHAIANO. P., N'GUYEN D-L., TAILLANDIER P.
Microbial protease or yeast extract alternative additions for improvment of fermentation performance and quality of beer brewed with high rice content
Journal of American Society of Brewing Chemists, 2001, Vol. 59, Num. 1, Pp. 10-16

LINS DE BARROS NETO E., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Organic solvent-free extraction of phenol through liquid-coacervate extraction systems, Solvent extraction for the 21st Century
Society of Chemical Industry, M. Cox, M. Hidalgo et M. Valiente éd., Londres, 2001, Vol. 1, Pp. 171-176

MARESCA M., MAHFOUD R., PFOHL-LESZKOWICZ A., FANTINI J.
The mycotoxin ochratoxin A alters intestinal barrier and absorption functions, but has no effect on chloride secretion
Toxicology and applied pharmacology, 2001, Vol. 176, Num. 1, Pp. 54-63

MARTY A., CONDORET J-S.
Enzymatic transformations in supercritical media
Methods in Biotechnology, 2001

MAVROS P., MANN R., VLAEV S-D., BERTRAND J.
Experimental visualization and CFD simulation of flow patterns induced by a novel energy-saving dual-configuration impeller in stirred vessels
Chemical Engineering Research and Design TIChE part A, 2001, Vol. 79, Num. 8, Pp. 857-866

MEZGHANI M., ROUX G., CABASSUD M., DAHHOU B., LE LANN M-V., CASAMATTA G.
Robust iterative learning control of an exothermic semi-batch chemical reactor
Mathematics and Computers in Simulation, 2001, Vol. 57, Num. 6, Pp. 367-385

MULHOLLAND M., LE LANN M-V., CABASSUD M., CHOUAI A., PROSSER J.
Visualisation of constrained predictive control of a liquid-liquid extractor
Control Engineering Practice, 2001, Vol. 9, Pp. 483-490

Département Réaction, Mélange, Séparation (RMS)

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Enhancement of absorption efficiency for a laminar film flow by hydrodynamics conditions generated by a new type of column wall
Chemical Engineering Journal, 2001, Vol. 83, Pp. 7-13

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Study of a laminar falling film flowing over a wavy wall column. Part I- Numerical investigation of the flow pattern and the coupled heat and mass transfer
International Journal of Heat and Mass Transfer, 2001, Vol. 44, Pp. 2137-2146

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Study of a laminar falling film flowing over a wavy column: Part II. Experimental validation of hydrodynamics
International Journal of Heat and Mass Transfer, 2001, Vol. 44, Pp. 2147-2154

PFOHL-LESZKOWICZ A., CASTEGNARO M., BEDOURET S., MOLINIE A., LE BOULC'H V., BONY M., THISSE M., DUNNIGAN P., SENG J-M
Contribution à l'amélioration de la qualité sanitaire du blé en cours de stockage. suivi de la formation de mycotoxines. Partie 1: point sur les connaissance
Phytoma, La défense des végétaux, 2001, Vol. 541, Pp. 24-30

RANADE V-V., PERRARD M., LE SAUZE N., XUEREB C., BERTRAND J.
Influence of gas flow rate on structure of trailing vortices of Rushton turbine: PIV measurements and CFD simulations
Chemical Engineering Research and Design TIChE part A, 2001, Vol. 79, Num. 8, Pp. 957-964

RANADE V., PERRARD M., LE SAUZE N., XUEREB C., BERTRAND J.
Trailing vortices of Rushton turbine: PIV measurements and CFD simulations with snapshot approach
Chemical Engineering Research and Design, 2001, Vol. 79, Pp. 3-12

SANDOVAL G., CONDORET J-S., MARTY A.
Thermodynamics activity based enzyme kinetics: an efficient tool for prediction of enzymatic reaction kinetics
American Institute of Chemical Engineers Journal, 2001, Vol. 47, Num. 3, Pp. 718-726

SCHNEIDER G., STREHAIANO.P., TAILLANDIER P.
Improvement of a fed-batch process for high level xynalase production by a Bacillus strain
Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2001, Vol. 76, Pp. 456-460

STUBER F., POLAERT I., DELMAS H., FONT J., FORTUNY A., FABREGAT A.
Catalytic wet air oxidation of phenol using active carbon: performance of discontinuous and continuous reactors
Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2001, Vol. 76, Pp. 743-751, pp.743-751

TSOCHATZIDIS N-A., GUIRAUD P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Determination of velocity size and concentration of ultrasonic cavitation bubbles by the phase-Doppler technique
Chemical Engineering Science, 2001, Vol. 56, Pp. 1831-1840

XAUMIER F., LE LANN M-V., CABASSUD M., CASAMATTA G.
A strategy for supervisory control of batch reactors: An experimental study

Journal A, 2001, Vol. 42, Num. 2, Pp. 20-28

2002

ALBASI C., TATARIDIS P., TAILLANDIER P., STREHAIANO P.
Un nouvel outil d'étude quantitative des interactions microbiennes en milieu liquide: applications aux bactéries lactiques oenologiques
Science des aliments, 2002, Vol. 22, Pp. 189-198

ANGELOV G., GOURDON C.
Study on the turbulence in pulsed stagewise extraction columns: turbulent macroscales
Hung. J. of Indus. Chemistry, 2002, Vol. 30, Num. 2, Pp. 137-142

ANGELOV G., GOURDON C.
Turbulent viscosity in pulsed stagewise extraction columns
Bulg. Chem. Comm., 2002, Vol. 34, Num. 2, Pp. 124-134

ARLT V-M., FERLUGA D., STIBOROVA M., PFOHL-LESZKOWICZ A., VUKELIC M., CEOVIC S., SCHMEISER H-H., COSYNS J-P.
Is aristolochic acid a risk factor for Balkan endemic nephropathy-associated urothelial cancer ?
Int. J. Cancer, 2002, Vol. 101, Pp. 500-502

BEKAERT C., FERRIER V., MARTY J., PFOHL-LESZKOWICZ A., BISPO A., JOURDAIN M-J., JAUZEIN M., LAMBOLEZ-MICHEL L., BILLARD H.
Evaluation of toxic and genotoxic potential of stabilized industrial waste and contaminated soils
Waste Manag., 2002, Vol. 22, Num. 2, Pp. 241-247

BINET S., PFOHL-LESZKOWICZ A., BRANDT H., LAFONTAINE M., CASTEGNARO M.
Exposure to bitumen fumes review of work on the potential risk to workers and the present knowledge on its origin
Sci. Total Environ, 2002, Vol. 300, Pp. 37-49

BOYER C., DUQUENNE A-M., WILD G.
Measuring techniques in gas-liquid and gas-liquid-solid reactors
Chemical Engineering Science, 2002, Vol. 57, Num. 16, Pp. 3185-3215

BURDIN F., GUIRAUD P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Implementation of the laser diffraction technique for the acoustic cavitation bubble investigationParticle and Particle Systems Characterization, 2002, Vol. 19, Num. 2, Pp. 73-83

CABASSUD M., DELGRANGE-VINCENT N., CABASSUD C., DURAND-BOURLIER L., LAINE J-M.
Neural networks: a tool to improve UF plant productivity
Desalination, 2002, Vol. 145, Pp. 223-231

CANSELIER J-P.
The use of surfactants in analytical techniques, Part 1
Chimica Oggi, 2002, Pp. 35-39

CANSELIER J-P.
The use of surfactants in analytical techniques, Part 2
Chimica Oggi, 2002, Pp. 41-47

CANSELIER J-P., DELMAS H., WILHELM A-M., ABISMAIL B.
Ultrasound emulsification. An overview
Journal of Dispersion Science and Technology, 2002, Vol. 23, Num. 1-3, Pp. 333-349

CHAUDHARI R-V., JAGANATHAN R., MATHEW S-P., JULCOUR C., DELMAS H.
Hydrogenation of 1,5,9 cyclododecatriene in three-phase fixed-bed reactors: Down-flow vs. upflow modes
AIChE Journal, 2002, Vol. 48, Num. 1, Pp. 110-125

DE LIMA LEITE R-H., COGNET P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Anodic oxidation of 2,4-dihydroxybenzoic acid for wastewater treatment: study of ultrasound activation
Chemical Engineering Science, 2002, Vol. 57, Num. 5, Pp. 767-778

DESSOUDEIX M., JAUREGUI U-J., HEUGUEBAERT M., WILHELM A-M., DELMAS H., LEBUGLE A., KALCK P.
Apatitic trialcium phosphates as novel smart solids for supported aqueous phase catalysis (SPAC) Adv. Synth. Catal., 2002, Vol. 344, Num. 3+4, Pp. 406-412

DEVATINE A., CANSELIER J-P., MARTINEZ A., GABAS N.
Désacidification des vins par précipitation des sels de l'acide malique
Revue des oenologues et des techniques vitivinicoles et œnologiques, 2002, Num. 105s, Pp. 33-36

JAUREGUI U-J., NIKOLOVA R., WILHELM A-M., DELMAS H., NIKOV I.
Selective hydroformylation of monoterpenes using supported phase catalysis (SAPC)
Bulg. Chem. Commun., 2002, Vol. 34, Pp. 64-65

JAUREGUI U., WILHELM A-M., DELMAS H.
Hydroformylation of oct-ene by supported aqueous phase catalysis: influence of catalytic complex and preparation method of the supports
Latin American Applied Research, 2002, Vol. 32, Num. 2, Pp. 131-136

JULCOUR C., CHAUDHARI R.V., LE LANN J-M., WILHELM A-M., DELMAS H.
Dynamic modeling of a three-phase upflow fixed-bed reactor including pore diffusion.
Chemical Engineering and Processing, 2002, Vol. 41, Num. 4, Pp. 311-320

LAMARI L., ZITOUNI A., BOUDJELLA H., BADJI B., SABAOU N., LEBRIHI A., LEFEBVRE G., SEGUIN E., TILLEQUIN F.
New Dithiolopyrrolone Antibiotics from Saccharothrix sp. SA 233. I- Taxonomy, Fermentation, Isolation and Biological Activities
Journal of Antibiotics, 2002, Vol. 55, Pp. 696-701

LAMARI L., ZITOUNI A., BOUDJELLA H., BADJI B., SABAOU N., LEBRIHI A., LEFEBVRE G., SEGUIN E., TILLEQUIN F.
New Dithiolopyrrolone Antibiotics from Saccharothrix sp. SA 233. II- Physicochemical Properties and Structure Elucidation.
Journal of Antibiotics, 2002, Vol. 55, Pp. 702-706

LEROUX P., GREDT M., GUERIN L., LEBRIHI A.
Fongicides utilisés en viticulture et mycotoxines. Etude en laboratoire de la toxicité de ces fongicides vis-à-vis de champignons producteurs de mycotoxines
Phytoma, 2002, Vol. 553, Pp. 28-31

LETELLIER B., XUEREB C., SWAELS P., HOBBES P., BERTRAND J.
Scale-up in Laminar and Transient Regimes of a Multi-Stage Stirrer, A CFD Approach'
Chemical Engineering Science, 2002, Vol. 57, Pp. 4617-4632

MAHFOUD R., MARESCA M., SANTELLI M., PFOHL-LESZKOWICZ A., PUIGSERVER A., FANTINI J.
pH-dependent interaction of fumonisin B1 with cholesterol: physico-chemical and molecular modeling studies at the air-water interface x
J. Agric Food, 2002, Vol. 20, Num. 2, Pp. 327-331

MAVROS P., XUEREB C., FORT I., BERTRAND J.
Investigation by laser Doppler velocimetry of the effects of liquid flow rates and feed positions on the flow patterns induced in a stirred tank by an axial-flow impeller
Chemical Engineering Science, 2002, Vol. 57, Num. 8, Pp. 3939-3952

MAVROS P., XUEREB C., FORT I., BERTRAND J.
Investigation of Flow Patterns in Continuous Flow Stirred Vessels.by Laser Doppler VelocimetryCanadian Journal of Chemical Engineering, 2002, Vol. 80, Num. 4, Pp. 591-600

MEZGHANI M., ROUX G., CABASSUD M., LE LANN M-V., DAHHOU B., CASAMATTA G.
Application of iterative learning control to an exothermic semi-batch chemical reactor
IEEE Transactions on control Systems Technology, 2002, Vol. 10, Num. 6, Pp. 822-834

MILJKOVIC A., PFOHL-LESZKOWICZ A., DOBROTA M., MANTLE P.G.
Comparative responses to mode of oral administration and dose of ochratoxin A or nephrotoxic extract of Penicillium polonicum in rats
Exp Toxic Pathol., 2002, Vol. 54, Pp. 305-312

NIKOLOV I., CHERNOZEMSKY I-N., PETKOVA-BOCHAROVA T., VRABCHEVA T., STOJCHEV I., BANKOV B., CASTEGNARO M., PFOHL-LESZKOWICZ A., DRAGACCI S., DAY N., GILL C., USLEBER E., DIETRICH R., MARTLBAUER E.
Review of the cooperative studies of the National oncological center in Bulgaria on Balkan endemic nephropathy and associate urinary tract tumours (1991-2001)
Facta universitatis, series:Medecine and Biology, 2002, Vol. 9, Num. 1, Pp. 119-122

PFOHL-LESZKOWICZ A., BARTSCH H., AZÉMAR B., MOHR U., ESTÈVE J., CASTEGNARO
MESNA protects rats against nephrotoxicity but not carcinogenicity induced by ochratoxin A, implicating two separate pathways
Facta universitatis, series Medicine & Biology, 2002, Vol. 9, Num. 1, Pp. 57-63

PFOHL-LESZKOWICZ A., PETKOVA-BOCHAROVA T., CHERNOZEMSKY I-N., CASTEGNARO M.
endemic nephropathy and the associated urinary tract tumours: review on etiological causes, potential role of mycotoxins
Food Additive and Contaminants, 2002, Vol. 19, Num. 3, Pp. 282-302

POLAERT I., WILHELM A-M., DELMAS H.
Phenol wastewater treatment by a two-step adsorption-oxidation process on activated carbon
Chemical Engineering Science, 2002, Vol. 57, Num. 9, Pp. 1585-1590

POMMIER S., ALBASI C., RIBA J-P., DELIA M-L.
A new membrane tool for the quantification of microorganisms interaction dynamics: application to yeast killer system
Desalination, 2002, Vol. 149, Pp. 243-245

ROMDHANE M., GOURDON C.
Investigation in solid-liquid extraction: influence of ultrasound
Chemical Engineering Journal, 2002, Vol. 87, Num. 1, Pp. 11-19

SABONI A., GOURDON C., CHESTERS A.K., ALEXANDROVA S., HADJIEF D.
Interdrop coalescence with mass transfer. Comparison of the approximate drainage models with numerical results
Chemical Engineering Journal, 2002, Vol. 88, Num. 1-3, Pp. 127-139

SANDOVAL G., CONDORET J-S., MONSAN P., MARTY A.
Esterification by immobilized lipase in solvent free media: kinetic and thermodynamic approach
Biotechnol. Bioeng., 2002, Vol. 78, Pp. 313-320

SCHMEISER H-H., ARLT V-M., FERLUGA D., STIBOROVA M., PFOHL-LESZKOWICZ A., VUKELIC M., CEOVIC S., COSYNS J-P.
Aristolochic acid as a risk factor for Balkan endemic nephropathy.
Facta universitatis, series Medicine & Biology, 2002, Vol. 9, Num. 1, Pp. 53-56

STREHAIANO P., RAMON-PORTUGAL F., TAILLANDIER P., SILVA S., NEPVEU F.
Levures et maîtrise de l'acidité des moûts et des vins
Revue des Oenologues et des Techniques Viticoles et Œnologiques, 2002, Vol. 105, Pp. 23-37

TAILLANDIER P., TATARIDIS P., ALBASI C., STREHAIANO P.
Etude des antagonismes entre levures et bactéries lactiques et entre souches de bactéries lactiques pour la maîtrise de la fermentation malolactique
Revue des oenologues et des techniques viticoles et œnologiques, 2002, Num. 105, Pp. 37-42

XAUMIER F., LE LAN M-V., CABASSUD M., CASAMATTA G.
Experimental application of nonlinear model predictive control: temperature control of an industrial semi-batch pilot-plant reactor
Journal of Process Control, 2002, Vol. 12, Pp. 687-693

2003

AGUILAR USCANGA M-G., DELIA M-L., STREHAIANO P.
Brettanomyces bruxellensis: Effect of oxygen on growth and acetic acid production
Applied Microbiology and Biotechnology, 2003, Vol. 61, Num. 2, Pp. 157-162

AKCHA F., VINCENT-HUBERT F., PFOHL-LESZKOWICZ A
Potential value of the comet assay and DNA adduct measurement in dab (Limanda limanda) for assessment of in situ exposure to genotoxic compounds
Mut Res, 2003, Vol. 534, Pp. 21-32

ALFENORE S., DELIA M-L., STREHAIANO P.
Use of ATP measurements by bioluminescence to quantify yeast's sensivity against a killer toxin
Analytica Chemica Acta, 2003, Vol. 495, Pp. 217-224

AMAT A, BURGEOT T, CASTEGNARO M, PFOHL-LESZKOWICZ A.
Difference in DNA adducts formation used as a biomarker in fish (solea solea) and mussels (mytilus edulis) exposed to "Erika" oil spill
Drug metabolism reviews, supp 1, 2003, Vol. 35, P. 69

AMAT A., CASTEGNARO M., BURGEOT T., PFOHL-LESZKOWICZ A.
In vitro metabolism of crude petroleum from "Erika" oil spill by fish (solea solea) and mussels (mytilus edulis) microsomes.
Drug metabolism reviews, supp 1, 2003, Vol. 35, P. 69

AMARA N., RATSIMBA B., WILHELM A-M., DELMAS H.
Growth rate of potash alum crystals. Comparison of silent and ultrasonic conditions
Ultrasonics Sonochemistry, 2003, Vol. 11, Num. 1, Pp. 17-21

AUBIN J., FLETCHER D-F., BERTRAND J., XUEREB C.
Characterisation of Mixing Quality in Micromixers
Chem. Eng. Technol., 2003, Vol. 26, Num. 12, Pp. 1262-1270

AUGUSTO D'ANGELO F., BRUNET L., COGNET P., CABASSUD M.
Modelling and constraint optimisation of an aromatic nitration in liquid-liquid medium
Chemical Engineering Journal, 2003, Vol. 91(1), Num. 75

BARDIN-MONNIER N., GUIRAUD P., GOURDON C.
Lagrangian simulations contribution to the knowledge of discs and doughnuts pulsed solvent extraction columns hydrodynamics
Chem. Eng. and Proc., 2003, Vol. 42, Num. 7, Pp. 503-516

BARDIN-MONNIER N., GUIRAUD P., GOURDON C.
Residence time distribution of droplets within discs and doughnuts pulsed extraction columns via Lagrangian experiments and simulations
The Chemical Engineering Journal, 2003, Vol. 94, Num. 3, Pp. 241-254

BENAISSA M., JAUREGUI-HAZA U-J., NIKOV I., WILHELM A-M., DELMAS H.
Hydroformylation of linalool in a supported aqueous phase catalyst by immobilized rhodium complex: kinetic study
Catalysis Today, 2003, Vol. 79-80, Pp. 419-425

CAMY S., PIC J-S., CHARBIT G., CONDORET J-S.
Fluid phase equilibria of the reacting mixture in the dimethyl carbonate synthesis from supercritical C02
The Journal of Supercriticals Fluids, 2003, Vol. 25, Pp. 19-32

CUI Z-G., CANSELIER J-P.
Solubilization in some anionic-cationic surfactant binary systems
Polymer International, 2003, Vol. 52, Num. 4, Pp. 548-552

DE LIMA LEITE R-H., COGNET P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Anodic oxidation of 2,4-dihydroxybenzoic acid for wastewater treatment
Journal of Applied Electrochemistry, 2003, Vol. 33, Num. 8, Pp. 693-701

DESCHAMPS G., CARUEL H., BORREDON M-E., ALBASI C., RIBA J-P., BONNIN C., VIGNOLES C.
Oil removal from water by sorption on hydrophobic cotton fibers. Part II: Study of sorption properties in dynamic mode
Environ. Sci. Technol., 2003, Vol. 37, Num. 21, Pp. 5034-5039

Département Réaction, Mélange, Séparation (RMS)

2004

DEVATINE A., CANSELIER J-P., GABAS N., JAUD J.
Crystal and Molecular Structure of calcium L(-)Malate Trihydrate
Journal of Chem. Cryst., 2003, Vol. 33, Num. 2, Pp. 85-90

DIETZ A., JULCOUR C., WILHELM A-M., DELMAS H.
Selective hydrogenation in trickle-bed reactor: experimental and modelling including partial wetting
Catalysis Today, 2003, Vol. 79-80, Pp. 293-305

DUMONT E., DELMAS H.
Mass transfer enhancement of gas absorption in oil-in-water systems: a review
Chemical Engineering Process, 2003, Vol. 42, Pp. 419-438

ELGUE S., LE LANN J-M., CABASSUD M., PRAT L., CEZERAC J.
Influence of the optimisation approach on the determination of operating conditions of batch global syntheses
Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 2003, Vol. 17, Num. 1, Pp. 43-53

FAUCET V., EL ADLOUNI C., DEKANT W., CASTEGNARO M., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Correlation between ochratoxin A-metabolites produced by several pig organs microsomes and DNA-adduct formation
Drug metabolism reviews, suppl. 1, 2003, Vol. 35, P. 112

HADDOU B., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Purification of effluents by two-aqueous phase extraction
Trans IchemE (Chem. Eng. Res. Des.), 2003, Vol. 81A, Pp. 1185-1192

HAJJAJI A., BOUSETA A., BOUYA D., LEBRIHI A., COLLIN S.
Détection par CPG de composés organiques volatils produits par deux souches marocaines cultivées sur céréales
Journal of Catalytic Materials and Environment, 2003, Vol. 2, Pp. 35-40

ISSANCHOU S., COGNET P., CABASSUD M.
Precise parameter estimation for chemical batch reactions in heterogeneous medium
Chemical Engineering Science, 2003, Vol. 58, Num. 9, Pp. 1805-1813

JAUREGUI U-J., PARDILLO E., KALCK P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Supported aqueous phase catalysis: a new kinetic model of hydroformylation of octene in a gas-liquid-liquid-solid system
Catalysis Today, 2003, Vol. 79-80, Pp. 409-417

KHOPKAR A., AUBIN J., LE SAUZE N., XUEREB C., BERTRAND J., RANADE V-V.
Gas-Liquid Flow Generated by a Pitched Blade Turbine: PIV Measurements and CFD Simulations
Ind. Eng. Chem. Res., 2003, Vol. 42, Num. 21, Pp. 5318-5332

KIAMBI S-L., DUQUENNE A-M., DUPONT J-B., COLIN C., RISSO F., DELMAS H.
Analysis of bubble-probe interactions by imaging: application to local interfacial measurements
Canadian journal of Chemical Engineering, 2003, Vol. 81, Num. 3-4, Pp. 764-776

KIRIAMITI H-K., CAMY S., GOURDON C., CONDORET J-S.
Pyrethrin extraction from pyrethrum flowers using supercritical CO2
The Journal of Supercriticals Fluids, 2003, Vol. 26, Pp. 193-200

KIRIAMITI H-K., CAMY S., GOURDON C., CONDORET J-S.
Supercritical carbon dioxide processing of pyrethrum oleoresin and pale
Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, Vol. 51, Pp. 880-884

KUNDU A., DUMONT E., DUQUENNE A-M., DELMAS H.
Mass transfer characteristics in gas-liquid-liquid system
Canadian Journal of Chemical Engineering, 2003, Vol. 81, Num. 3-4, Pp. 640-646

KUNDU A., DUQUENNE A-M., DELMAS H., NIGAM K-D-P.
Recent developments on hydroprocessing reactors
Reviews in Chemical Engineering, 2003, Vol. 19, Num. 6, Pp. 531-605

MEDAWAR W., STREHAIANO P., DELIA M-L.
Yeast growth: lag phase modelling in alcoholic media
Food microbiology, 0740-0020, 2003, Vol. 20, Pp. 527-532

MOLINIÉ A., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Toxic effects of co-contamination of ochratoxin A and citrinin.
Drug metabolism reviews, suppl. 1, 2003, Vol. 35, P. 77

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Modelling of the coupling hydrodynamic transfer for a gas-liquid countercurrent flow on a wavy surface
Chemical Engineering Science, 2003, Vol. 58, Pp. 2705-2714

PETKOVA-BOCHAROVA T., CASTEGNARO M., PFOHL-LESZKOWICZ A., GARREN L., GROSSO F., NIKOLOV I., VRABCHEVA T., DRAGACCI S., CHERNOZEMSKY I
Analysis of ochratoxin A in serum and urine of inhabitants from an area with Balkan Endemic Nephropathy: A one month follow up study
Facta universitatis, series: medicine & Biology, 2003, Vol. 10, Num. 2, Pp. 62-68

PETKOVA-BOCHAROVA T., EL ADLOUNI C., FAUCET V., PFOHL-LESZKOWICZ A., MANTLE P.
Analysis for DNA adducts, ochratoxin A content and enzymes expression in kidneys of pigs exposed to mild experimental chronic ochratoxicosis
Facta universitatis, series: medicine & Biology, 2003, Vol. 10, Num. 3, Pp. 111-115

PREUSS K., LE LANN M-V., CABASSUD M., ANNE-ACHARD G.
Implementation procedure of an advanced supervisory and control strategy in the pharmaceutical industry
Control Engineering Practice, 2003, Vol. 11, Num. Issue 12, Pp. 1449-1458

SARDEING R., FERRAND F., POUX M., AVRILLIER P., XUEREB C.
Hydrodynamics and Gas Dispersion Characterisation in a System Equipped with a New Gas-Inducing Impeller
Eng. Life Sc., 2003, Vol. 3, Pp. 31-37

SERRA A., STREHAIANO P., TAILLANDIER P.
Characterization of the metabolic shift of Saccharomyces bayanus var. uvarum by continuous aerobic culture
Applied Microbiology Biotechnology, 2003, Vol. 62, Pp. 564-568

STUBER F., DELMAS H.
Partial hydrogenation of 1,5,9-cyclododecatriene in an up flow fixed-bed reactor: a multistage operation for experimental optimization of selectivity
Ind. Chem. Research, 2003, Vol. 42, Pp. 6-13

VORS J-P., GERBAUD V., GABAS N., CANSELIER J-P. JAGEROVIC N., JIMENO M-L., ELGUERO J.
The structure of the agrochemical fungicidal 4-chloro-3-(3,5-dichlorophenyl)-1H-pyrazole, RPA 406194 and related compounds
Tetrahedron, 2003, Vol. 59, Num. 4, Pp. 555-560

AKCHA F., LEDAY G., PFOHL-LESZKOWICZ A
Measurement of DNA adduct and strand breaks in dab (Limanda limanda) Effects of biotic (age, sexe) and abiotic (sample site and periods) factors on the extent of DNA damage.
Mutation research, 2004, Vol. 552, Num. 1, 2, Pp. 197-207

AMARA N., RATSIMBA B., WILHELM A-M., DELMAS H.
Growth rate of potash alum crystals: comparison of silent and ultrasonic conditions
Ultrasonics Sonochemistry, 2004, Vol. 11, Num. 1, Pp. 17-21

AMAT A., CASTEGNARO M., BURGEOT T., PFOHL-LESZKOWICZ A.
DNA adducts as a biomarker of pollution- Field study on the genotoxic impact evolution of the Erika oil spill on mussels(Mytilus edulis) over an eleven months period
Polycyclic aromatic compounds, 2004, Vol. 24, Pp. 713-732

AMAT A., CASTEGNARO M., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Genotoxic activity of thiophenes on human cell line
Polycyclic aromatic hydrocarbon, 2004, Vol. 24, Pp. 733-742

ARANDA J-S., SALGADO E., TAILLANDIER P.
Trehalose accumulation in Saccahromyces cerevisiae cells: experimental data and structured modelling approach
Bioprocess Engineering Journal, 2004, Vol. 17, Num. 2, Pp. 129-140

AUBIN J., FLETCHER D-F., XUEREB C.
Modeling Turbulent Flow in Stirred Tanks with CFD: The Influence of the Modeling Approach, Turbulence Model and Numerical Scheme
Experimental, Thermal and Fluid Science, 2004, Vol. 28, Pp. 431-445

AUBIN J., LE SAUZE N., BERTRAND J., FLETCHER D-F., XUEREB C.
PIV Measurements in an Aerated Tank Stirred by a Down- and Up-Pumping Axial Flow Impeller
Experimental, Thermal and Fluid Science, 2004, Vol. 28, Pp. 447-456

BALLIVET-TKATCHENKO D., CAMY S., CONDORET J-S.
Carbon dioxide, a solvent and synthon for green chemistry
Environmental Chemistry, Springer, Berlin, Chap. 49, 2004, Pp. 541-552

BEJAOUI H., MATHIEU F., TAILLANDIER P., LEBRIHI A.
Ochratoxin A removal in synthetic an natural grape juices by selected oenological Saccharomyces strains
Journal of applied microbiology, 2004, Vol. 97, Pp. 1038-1044

BELHABRI M., LEGRAND J., LE SAUZE N., ARHALIAS A.
On line determination of Particle Size Distributions in flowing Dispersions
Particle and Particle Systems Characterization, 2004, Vol. 21, Num. Issue 5

BERTRAND J.
Special Issue in honour of Professor Alvin W. Nienow: Editorial
Chemical Engineering Research and Design, 2004,Vol. 82, Num. A9, P. 1071

BERTRAND J., MAVROS P.
The Changing Face of Chemical Engineering Research
Chemical Engineering Research and Design, 2004, Vol. 82, Num. A11, Pp. 1-6

BERTRAND J., POUX M., AUBIN J.
Working Party on Mixing: development, state of the art and future of the scientific field
Chemical Engineering Research and Design, 2004, Vol. 82, Num. A12, Pp. 1575-1579

BHIRUD U.S., GOGATE P.R., WILHELM A-M., PANDIT A-B.
Ultrasonic bath with longitudinal vibrations: a novel configuration for efficient wastewater treatment
Ultrasonics Sonochemistry, 2004, Vol. 11, Num. 3-4, Pp. 143-147

BOCQUÉNÉ G., CHANTERAEU S., RAFFIN B., MINIER C., CLÉRENDEAU C., PFOHL-LESZKOWICZ A., BEAUSIR E., NARBONNE J-F., BURGEOT T., MÉNARD D.
Biological effects of the "ERIKA" oil spill on the common mussel (Mytilus edulis)
Aquatic living resources, 2004, Vol. 17, Num. 3, Pp. 309-316

CANSELIER J-P., POUX M.
Preparation of emulsions: theoretical notions and practical aspects
Pharma Chem., 2004, Vol. 3, Num. 1-2, Pp. 16-21

DAI J., PARK G., PERRY J-L., ILL'ICHEV Y-V., BOW D-A-J., PRITCHARD J-B., FAUCET V., PFOHL-LESZKOWICZ A., MANDERVILLE R., SIMON J-D.
Molecular aspects of the transport and toxicity of ochratoxin
Account Chem Res., 2004, Vol. 37, Num. 11, Pp. 874-881

ELGUE S., PRAT L., CABASSUD M., LE LANN J-M., CEZERAC J.
Simple dynamic models for startup operations of batch distillation columns
Computers & Chemical Engineering, 2004, Vol. 28, Pp. 2735-2747

ELGUE S., PRAT L., COGNET P., CABASSUD M., LE LANN J-M., CEZERAC J.
Influence of solvent choice on the optimisation of a reaction separation operation: application to a Beckmann rearrangement reaction
Separation and Purification Technology, 2004, Vol. 34, Num. 1-3, Pp. 273-281

FAUCET, V., PFOHL-LESZKOWICZ A., DAI J., CASTEGNARO M., MANDERVILLE R.
Evidence for Covalent DNA Adduction by Ochratoxin A Following Chronic Exposure to Rat and Subacute Exposure to Pi
Chem. Res in Toxicology, 2004, Vol. 17, Pp. 1289-1296

FERREIRA DE LA SALLES W., CANSELIER J-P., GOURDON C.
An approach to the manufacture of secondary alkanesulfonates without gaseous reagents
Chimica Oggi., Household and Personal Care today (supl.), 2004, Pp. 70-73

GARCIA D, XUEREB C., TAILLANDIER P., JAUREGUI-HAZA U., BERTRAND J.
Effect of Dual Impeller-Sparger Geometry on the Hydrodynamics and Mass Transfer in Stirred Vessels

Chemical Engineering Technology, 2004, Vol. 27, Num. 9, Pp. 988-999
GUERIN L., BEGUIN J., MATHIEU F., LEROUX P., LEBRIHI A.
Fongicides utilisés en viticulture et mycotoxines. Etude en laboratoire de l'incidence de plusieurs fongicides sur la production de l'ochratoxine A par Aspergillus spp.
Phytoma, 2004, Vol. 574, Pp. 30-33

HAJJAJI A., BOUSETA A., BOUYA D., LEBRIHI A., COLLIN S.
Détection par CPG des COV produits par les moisissures
J. Catalytical Materials and Environment., 2004, (à paraître)

JAUREGUI U-J., PARDILLO E., WILHELM A-M., DELMAS H.
Solubility of hydrogen and carbon monoxide in water and some organic solvents
Latin American Applied Research, 2004, Vol. 34, Num. 2, Pp. 71-74

KHOPKAR A., AUBIN J., RUBIO-ATOCHE C., LE SAUZE N., XUEREB C., BERTRAND J., RANADE V-V.
Gas-Liquid Dispersion using a Scaba 6SRGT: PIV Measurements and CFD Simulations
Int. J. Chem. Reactor. Eng., 2004, Vol. 2, Num. A18

KHOPKAR A-R., MAVROS P., RANADE V-V., BERTRAND J.
Simulation of flow generated by an axial-flow impeller batch and continuous operation
Chemical Engineering Research and Design, 2004, Vol. 82, Num. A6, Pp. 737-751

KUMAR A., COGATE P-R., PANDIT A-B., DELMAS H., WILHELM A-M.
Gas-liquid mass transfer studies in sonochemical reactors
Ind. Eng. Chem. Res., 2004, Vol. 43, Num. 8, Pp. 1812-1819

PFOHL-LESZKOWICZ A., MOLINIÉ A., CASTEGNARO M.
Presence of ochratoxin a, citrinin and fumonisin b1 in breakfast cereals collected in french market. comparison of OTA analysis using or not immunoaffinity clean-up before HPLC
The revista Mexicana de Micologia, 2004, Vol. 19, Pp. 7-15

POUX P., SARDEING R., XUEREB C., CHEVALLIER G.
Optimisation d'un appareil d'oxygénation et de brassage pour le traitement biologique des eaux usées: Le turboxal Hydroplus
HydroSciences, 2004, Vol. 148, Pp. 66-70

PRAT L., N'DIAYE S., RIGAL L., GOURDON C.
Solid-liquid transport in a modified corotating twin screw extruder –Dynamic simulator and experimental validations
Chemical Engineering and Processing, 2004, Vol. 43, Pp. 881-886

SABONI A., ALEXANDROVA S., GOURDON C.
Determination of the drag produced by a fluid sphere in translational motion
Chemical Engineering Journal, 2004, Vol. 98, Num. 1-2, Pp. 175-182

SARDEING R., AUBIN J., POUX M., XUEREB C.
Gas-Liquid Mass Transfer: Influence of Sparger Location
Chemical Engineering Research and Design, 2004, Vol. 82, Num. A9, Pp. 1161-1168

SARDEING R., AUBIN J., XUEREB C.
Gas-Liquid Mass Transfer: A Comparison of Down- and Up-Pumping Axial Flow Impellers with Radial Turbines
Chemical Engineering Research and Design, 2004, Vol. 82, Num. A12, Pp. 1589-1596

SARDEING R., POUX M., XUEREB C.
Les agitateurs auto-aspirants - Partie 1: présentation et principe de fonctionnement
La Houille Blanche, 2004, Vol. 2, Pp. 49-57

SARDEING R., POUX M., XUEREB C.
Les agitateurs auto-aspirants - Partie 2: dimensionnement et extrapolation
La Houille Blanche, 2004, Vol. 3, Pp. 75-88

SUPAKA N., JUNTONGJIN K., DAMRONGLERD S., DELIA M-L., STREHAIANO P.
Microbial decolorization of reactive azo dyes in a sequential anaerobic-aerobic system
Chemical Engineering Journal, 2004, Vol. 99, Pp. 169-176

WONGKITTIPONG R., PRAT L., DAMRONGLERD S., GOURDON C.
Solid-liquid extraction of andrographolide from plants experimental study, kinetic reaction and model
Separation and Purification Technology, 2004, Vol. 40, Num. 2, Pp. 147-154

ZITOUNI A., BOUDJELLA H., MATHIEU F., SABAOU N., LEBRIHI A.
Mutactimycin PR, a new anthracycline antibiotic from Saccharothrix sp. SA 103. I. Taxonomy, Fermentation, Isolation and Biological Activities
J. Antibiotics, 2004, Vol. 57, Pp. 367-372

ZITOUNI A., LAMARI L., BOUDJELLA H., BADJI B., SABAOU N., GAOUAR A., MATHIEU A., LEBRIHI A., LABEDA D-P.
Saccharothrix algeriensis sp. nov., a new species isolated from a Saharian soil
International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2004, Vol. 54, Pp. 1391-1395

ZITOUNI A., MATHIEU F., COPPEL Y., PONT F., SABAOU N., LEBRIHI A.
Mutactimycin PR, a new anthracycline antibiotic from Saccharothrix sp. SA 103. II. Physico-chemical Properties and Structure Elucidation
J. Antibiotics, 2004, Vol. 57, Pp. 373-378

2005

ASSASSI N., A. TAZEROUTI A., CANSELIER J-P.
Analysis of chlorinated, sulphochlorinated and sulphonamide derivatives of n-tetradecane by Gas Chromatography.Mass Spectrometry
J. Chromatogr. A, 2005, Vol. 1071, Pp. 71-80

AUBIN J., FLETCHER D-F., XUEREB C.
Design of Micromixers using CFD Modelling
Chemical Engineering Science, 2005, Vol. 60, Num. 8-9, Pp. 2503-2516

Département Réaction, Mélange, Séparation (RMS)

AWAD G., MATHIEU F., COPPEL Y., LEBRIHI A.
Characterisation and Regulation of New Secondary Metabolites from Aspergillus ochraceus A018, Mutant non Producer of Ochratoxin A.
Canadian Journal Microbiology, 2005, Vol. 51, Pp. 59-67

BEJAOUI H., MATHIEU F., TAILLANDIER P., LEBRIHI A.
Black Aspergillus species evolution and ochratoxin A Production in French wine grapes
International J. Food Microbiology, 20055, (à paraître)

BOURAS N., MATHIEU F., COPPEL Y., LEBRIHI A.
Aurasperone F: A New Member of the Naphtho-&#61543, -pyrone Class Isolated from a Cultured Microfungus, Aspergillus niger C-433.
Natural Product Research, 2005, Vol. 19, Pp. 1-7

BOURAS N., MATHIEU F., SABAOU BN., LEBRIHI A.
Effect of amino acids containing sulfur on dithiolopyrrolone antibiotic productions by Saccharothrix algeriensis NRRL B-24137
Journal of Applied Microbiology, 2005, (à paraître)

BRUNET L., PRAT L., WONGKITTIPONG R., GOURDON C., CASAMATTA G., DAMRONGLERD S.
A new pulsation policy in disc and doughnut pulsed column Application to the solid-liquid extraction of Andrographolide from plants
Chemical Engineering and Technology, 2005, Vol. 28, Num. 1

CABASSUD M., COGNET P., GARCIA V., LE LANN M-V., RIGAL L., CASAMATTA G.
A global approach for the optimization of batch chemical reactors: Application to the lactic acid synthesis by the alkaline degradation of fructose
Chemical Engineering Communication, 2005, Vol. 192, Num. 6, Pp. 758-786

CAMY S., CONDORET J-S.
Modelling and experimental study of separators for co-solvent recovery in supercritical extraction process
The Journal of Supercritical Fluids, 2005, (à paraître)

CANADAS D., DUBOIS M., COSTE C., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Oxygreen® process applied on wheat can reduce Ochratoxin A contamination
Chemical engeenering journal, 2005, (à paraître)

CANADAS D., GAOU I., PFOHL-LESZKOWICZ A., PARENT-MASSIN D., COSTE C., DUBOIS M.
Safety of oxygen®, an ozone treatment on wheat grains.-1-A four weeks toxicity study in rats by dietary administration of treated wheat
Food additives and contaminant, 2005, (à paraître)

CHAUMAT H., BILLET-DUQUENNE A-M., AUGIER F., MATHIEU C., DELMAS H.
Application of the double optic probe technique to distorted tumbling bubbles in aqueous or organic liquid
Chemical Engineering Science, 2005, (à paraître)

CHAUMAT H., BILLET-DUQUENNE A-M., AUGIER F., MATHIEU C., DELMAS H.
Mass transfer in bubble column for industrial applications. Effects of organic medium, gas and liquid flow rates and column design
Chemical Engineering Science, 2005, (à paraître)

CUI Z-G., CANSELIER J-P., ZHOU X-Q.
Mixed adsorption and surface tension prediction of nonideal ternary surfactant systems
Colloid Polym. Sci., 2005, Vol. 283, Pp. 539-550

DAO H-P., MATHIEU F., LEBRIHI A.
Two primer pairs to detect OTA producers by PCR method
Int. J. Food Microbiol., 2005, (à paraître)

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Cloud point, critical micelle concentration and HLB relationships for alcohol ethoxylates
Pharma Chem, 2005, Vol. 4, Num. 3, Pp. 36-39

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Extraçao de compostos orgânicos homologos e isomerôs (em um sistema de duas fases aquosas) utillizando a extraçao no ponto nuvem
Quimica Nova, 2005, (à paraître)

FERRAG F., HADJADJ-AOUL O., BELKADI M., TALAMALI R., CANSELIER J-P.
Extraction et caractérisation de la silice amorphe contenue dans la diatomite Algérienne
Phys. Chem. News, 2005, (à paraître)

HERNANDEZ ROJAS M-E., VAN KAAM R., SCHETRITE S., ALBASI C.
Role of supernatant compound in submerged membrane bioreactor fouling
Desalination, 2005, , (à paraître)

ISSANCHOU S., COGNET P., CABASSUD M.
Sequential experimental design strategy for rapid kinetic modelling of fine chemicals synthesis a case study: alkaline hydrolysis of n-amyl acetate
AIChE Journal, 2005, Vol. 51, Num. 6, Pp. 1773-1781

JOANNIS-CASSAN C., DELIA M-L., RIBA J-P.
Limitation phenomena induced by biofilm formation during hydrocarbon biodegradation
Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2005, Vol. 80, Num. 1, Pp. 99-106

KUMAR A., GOGATE P-R., PANDIT A-B., WILHELM A-M., DELMAS H.
Investigation of induction of air due to ultrasound source in the sonochemical reactors
Ultrasonics Sonochemistry, 2005, Vol.12, Num. 6, Pp. 453-460

MOLINIÉ A., FAUCET V., CASTEGNARO M., PFOHL- LESZKOWICZ A
Analysis of some breakfast cereals collected on the French market for their content in ochratoxin A, citrinin and fumonisin B1. Development of a new method for simultaneous extraction of ochratoxin A and citrinin
Food Chemistry, 2005, Vol. 92, Pp. 391-400

POMMIER S., STREHAIANO P., DELIA M-L.
Modelling the growth dynamics of interacting mixed cultures: a case of amensalism
International Journal of Food Microbiology, 2005, Vol. 100, Pp. 131-139

PRAT L., DEVATINE A., COGNET P., CABASSUD M., GOURDON C., ELGUE S., CHOPARD F.
Global experimental characterization of a multifunctional channel reactor
Chemical Engineering and Technology, 2005, Vol. 28, Num. 9, P. 1028

SARDEING R., POUX M., MELEN S., AVRILLIER P., XUEREB C.
Aeration of large size tanks by a surface agitator
Chemical Engineering Technology, 2005, Vol. 28, Num. 5, Pp. 587-595

SUWANPRASOP S., EFTAXIAS A., STÜBER F., POLAERT I., JULCOUR-LEBIGUE C., DELMAS H.
Scale-up and Modeling of Fixed-Bed Reactors for Catalytic Phenol Oxidation over Adsorptive Active Carbon
Industrial & Engineering Chemistry Research, 2005 (à paraître)

TANGUY P., BERTRAND J., XUEREB C.
Book review: handbook of industrial mixing
Science and Pratice, E. L. Paul, V. A. Attiemo-Obeng, S.M. Kresta (Eds), Wiley, 2004
Chemical Engineering Science, 2005, Vol. 60, Num. 8-9, Pp. 2101

TANGUY P., BERTRAND J., XUEREB C.
Innovative studies in industrial mixing processes
Chemical Engineering Science, 2005, Vol. 60, Num. 8-9, Pp. 2099

TEIXEIRA DA SILVA DE LA SALLES K., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Characterization of a two-aqueous phase system containing a non-ionic surfactant
J. Disp. Sci. Technol., 2005, (à paraître)

XUEREB C.
Book review: Chemical Micro Process Engineering
V. Hessel, S. Hardt, H. Lowe, Wiley-VCH Verlag Gmbh & Co. (2004), Chemie Ingenieur Technik, 2005, Vol. 77, Num. 3, Pp. 310

OUVRAGES SCIENTIFIQUES

2001

CABASSUD M., LE LANN M-V.
Use of neural networks for process control. Experimental applications
Application of neural network and other learning technologies in process engineering
Imperial College Press Ed., Edited by MUJTABA I-M. and HUSSAIN M-A., 2001

LE LANN M-V., CABASSUD M.
La conduite thermique des réacteurs discontinus (chapitre 2)
Commande de procédés chimiques. Réacteurs et colonnes de distillation
Hermès Science Publications Paris, sous la direction de Corriou J-P., 2001

MARTY A., CONDORET J-S.
Enzyme in nonaqueous solvents: methods and protocls - transformations in supercritical media (Chap. 15)
Methods in Biotechnology, Vulfson, E.N. et al. Eds., The Humana Press Inc. 550 p Inc, 2001

2002

CASTEGNARO M., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Les mycotoxines: contaminants omnipresents dans l'alimentation animales et humaines
La sécurité alimentaire du consommateur, Lavoisier, Tec & doc., Moll & Moll (eds), 2002

DIRION J.L., CABASSUD M., LE LANN M-V., CASAMATTA G.
Neural networks for process control application to the temperature control of batch chemical reactors (Chap. 13)
Expert systems The technology of knowledge management and decision making for the 21st century, Edited by C.T. LEONDES, 2002, Vol. 2 Chap. 13, Pp. 443-485

PFOHL-LESZKOWICZ A., CASTEGNARO M.
Rôles des mycotoxines dans le développment de certains cancers
Toxines et recherches biomédicales, collection SFET, Goudey-Perrière, F., Bon Cassian, Puiseux-Dao, S. & Sauviat M-P (eds) Elsevier, 2002, Pp. 143-152

2003

KOZAKIEWICZ Z., BATTINLANI P., CABANES J., VENANCIO A., LOGRIECO A., TJAMOS E., LICHTER A., MAGAN N., SANCHIS V., LEBRIHI A., ZINZANI G., MINGUEZ S.
Making Wine Safer: the case of Ochratoxin A.
Meeting the Mycotoxin Menace, D. Barug, H. van Egmond, R. Lopez-Garcia, T. Van Osenbruggen, A. Visconti (Eds), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2003, Pp. 131-140

2004

CABASSUD M., CASAMATTA G., COGNET P., PRAT L.
Méthodologie pour la détermination rapide de conditions opératoires optimales: application au réacteur discontinu. Chapitre 11
Méthodes de Génie des procédés: études de cas, A. Bergel, J. Bertrand, Lavoisier, Paris, 2004, Pp. 333-364

CANSELIER J-P., POUX M.
Procédés d'émulsification
Techniques de l'Ingénieur, 2004, Vol. J 2 154 , Pp. 1-2

CANSELIER J-P., POUX M.
Procédés d'émulsification: Mécanismes de formation des émulsions
Techniques de l'Ingénieur, 2004, 2 Volumes, Vol. J 2 152, J 2 154, Pp. 1-12-1-2

DELIA M-L., COMTAT M., GABAS N., STREHAIANO P., TAILLANDIER P., ALBASI C.
Quand le génie des procédés s'intéresse à l'oenologie
Méthodes de génie des procédés – Etudes de cas, Hermés science publications, Lavoisier, Paris, A. Bergel et J. Bertrand, 2004, Pp. 191-227

DELMAS H., JULCOUR-LEBIGUE C., WILHELM A-M.
Conception d'un réacteur d'hydrogénation sélective triphasique
Méthodes de génie des procédés – études de cas, Hermès Science. Lavoisier, 2004, 1 Volume, Pp. 265-300

FLETCHER D-F., XUEREB C.
Mécanique des Fluides Numérique
Techniques de l'Ingénieur – Génie des Procédés, 2004, Chapitre J1050

POUX M., CANSELIER J-P.
Procédés d'émulsification: Techniques et appareillage
Techniques de l'Ingénieur, 2004, Vol. J 2 153 , Pp. 1-14

POUX M., XUEREB C.
La cuve agitée: comment assurer le mélange ou diagnostiquer la qualité d'une dispersion de gaz (Chapitre 8)
Méthodes du Génie des Procédés: Etudes de cas, Hermès, A. Bergel, J. Bertrand, 2004, Pp. 238-261

RICARD A.
Elaboration de microsphères par polymérisation en suspension (Chapitre 2) Méthodes du Génie des Procédés: Etudes de cas, Hermès, A. Bergel et J. Bertrand , 2004, Pp. 55-73

2005

BALLIVET-TKACHENKO D., CAMY S., CONDORET J-S.
Carbon dioxide, a solvent and synthon for green chemistry, environmental chemistry, green chemistry and polluants in Ecosystems, Chap 49, 2005
Eds. Lichthouse, Schwarzbauer J., Robert D., Springer ed., 2005

BELHABRI M., LE SAUZE N., ALHARIASS A., LEGRAND J.
Dispositif innovant pour la mesure de la granulométrie des milieux dispersés
Techniques de l'ingénieur, 2005, (à paraître)

SARDEING R., POUX M., XUEREB C.
Procédé d'oxygénation et de brassage pour le traitement biologique des eaux usées
Techniques de l'ingénieur, 7, 2005, IN44, 1-10

ARTICLES DE VULGARISATION

2002

MOLINIE A., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Les mycotoxines dans les céréales :les points importants de contrôle de la production au stockage, le devenir dans les produits dérivés
Les notes ASEDIS-SO, Hors-série spécial Mycotoxine, 2002, Pp. 32-42

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Risques pour la santé animale et humaine liés à la présence de mycotoxines dans les céréales
Les notes ASEDIS-SO, Hors-série spécial Mycotoxine, 2002, Pp. 1-12

UNDA CARBOTT DE ESCOBAR T., CANSELIER J-P.
Pouvoir moussant de mélanges de tensio-actifs anionique-non inique en solution aqueuse
Cahiers de Formulation, Société Française de Chimie, 2002, Vol. 9

2003

BORSLA A., CANSELIER J-P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Stabilisation de colloïdes de rhodium à propriétés catalytiques par des ligands ou des polymères
Cahier de Formulation, Société Française de Chimie, 2003, Vol. 10

KUNDU A., DUMONT E., DUQUENNE A-M., DELMAS H.
Transfer of material in gas-liquid-liquid system
La Tribune de l 'Eau, 2003, Vol. 56, Num. 622, Pp. 3-7

2005

SARDEING R., POUX M., XUEREB C., CHEVALIER G.
Nouveau design d'un système de traitement biologique des eaux usées par de l'oxygène pur
Fréquence Chimie Plus, 2005, Num. 9, Pp. 9-12

SARDEING R., POUX M., XUEREB C.
Optimisation de l'oxygénateur Turboxal pour le traitement des eaux usées
Instantanés Techniques mars-avril-mai n° 37 2005

COMMUNICATIONS AVEC ACTES

2001

ABISMAIL B., CANSELIER J-P., WILHELM A-M.
Ultrasound emulsification: stability of some simplified cosmetic and veterinary formulations
Comm. Formula III, LA GRANDE MOTTE (France), 13-16.10.01

ALBASI C., ARROS S., BARREIRO E., RIBA J-P., ESPENAN J-M.
Bioréacteur à membranes immergées pour le traitement d'eau domestique: influence de la perméabilite initiale de la membrane,choix des conditions de fonctionnement
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 81, Pp. 85-90

ALLIET-GAUBERT M., MAVROS P., XUEREB C., BERTRAND J.
CFD simulation and LDV validation of flow patterns in continuous-flow stirred vessels. Effect of liquid flow rate
Comm. 4th International Symposium on Mixing in Industrial Process ISMIP4, TOULOUSE (France), 13-15.05.01

BEN AIM R., ALBASI C.
Interactions biomass.Membrane in membrane bioreactors
Comm. Membrane Conference UEF Conference, BARGA (Italy), 05-07.10.01

BEQUET S., REMIGY J.C., ESPENAN J-M., RICARD A., APTEL P.
Nouvelles membranes de nanofiltration: élaboration, mécanisme de transport et application au traitement des eaux potables
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01

Département Réaction, Mélange, Séparation (RMS)

BONNEFOY O., HERRI J-M., MONFORT J-P., HENRY P.
A new experimental set-up for the study of the formation and dissociation of méthane hydrate in sédiments
Comm. International Conference on Conservation and Transformation an of matter and energy in the earth cryosphere, PUSCHINO (Russie), 01-05.06.01, P. 41

BRANDAM C., MEYER X.M., PROTH J., STREHAIANO P., PINGAUD H.
A new kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing
Comm. 11th World Congress of Food Science and Technology, SEOUL (Corée), 22-27.04.01

BRANDAM C., MEYER X.M., PROTH J., STREHAIANO P., PINGAUD H.
Optimal temperature strategy and reaction scheme proposal for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing
Comm. 11th World Congress of Food Science and Technology, SEOUL (Corée), 22-27.04.01

CABASSUD M., DELGRANGE-VINCENT N., CABASSUD C., DURAND-BOURLIER L., LAINE J-M.
Predictive control of an ultrafiltration pilot plant based on a neural networks model
Comm. EANN '01 International Conference on engineering applications of neural networks, CAGLIARI (Italy), 16-18.07.01, Pp. 23-30

CABASSUD C., VINCENT N., CABASSUD M., DURAND-BOURLIER L., LAINE J-M.
Neural networks: an innovative tool for long-term modeling of water production by ultrafiltration membranes
Comm. Membrane Technology Conference AWWA, SAN ANTONIO (Etats-Unis), 04-07.03.01

CANSELIER J-P., POUX M., WILHELM A-M., XUEREB C.
Emulsion characterization and emulsification processes: an overview
Comm. XXXI Jornadas Anuales del Comite Espanol de la Detergencia, BARCELONE (Espagne), 28-30.03.01, Pp. 85-96

DEBAB A., POUX M., RICARD A., BERTRAND J.
Comportement rhéologique d'une huile de lubrification et transfert thermique dans un réacteur agité
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 80, Pp. 209-216

DEVATINE A., GABAS N., CANSELIER J-P., COSTESEQUE P., CRACHEREAU J.C.
Obtention et caractérisation de malates de calcium par précipitation en solution hydroalcoolique
Comm. 3ème Colloque Science et Technologie des Poudres, NANCY (France), 03-05.04.01, Vol. 15, Num. 77, Pp. 132-236

HEDHILI L., ROMDHANE M., ABDELKADER M, ABDERABBA M., GADRI A., GOURDON C., CASAMATTA G.
Extraction des huiles essentielles des différentes plantes tunisiennes par vapodistillation et hydrodiffusion: thym et genevrier de phénicie
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 81, Pp. 299-301

IDRIS G., ALBASI C., DELIA M-L., RIBA J-P.
Quantification du développement d'un biofilm à une interface liquide-liquide
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 18, Num. 87, Pp. 293-301

JAUREGUI U., DESSOUDEIX M., KALCK P., WILHELM A-M., DELMAS H.
Cinetica de la hidroformilacion del octeno por catalisis en fase acuosa soportada
Comm. IVth International Congress on Chemistry and XIII Caribbean Conference on Chemistry and Chemical Engineering, HAVANA (Cuba), 16-20.04.01, Pp. 85-96

LE SAUZE N., OUZINEB K., RICARD A., McKENNA T., XUEREB C.
Apport des mélangeurs statiques lors d'une polymérisation en émulsion réalisée dans un réacteur en boucle
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 80, Pp. 152-160

LE SAUZE N., POPESCU F., FARGE O., ALLIET GAUBERT M., COSTES J.
Experimental and numerical investigation of the hydrodynamic of the SMX static mixer
Comm. 4th International Symposium on Mixing in Industrial Process ISMIP4, TOULOUSE (France), 13-15.05.01

MENG H.L., CANSELIER J-P.
Sulfonation of undecylenic acid
Comm. XXXI Jornadas Anuales del Comite Espanol de la Detergencia, BARCELONE (Espagne), 28-30.03.01, Pp. 299-311

NEGNY S., MEYER M., PREVOST M.
Modélisation du couplage hydrodynamique-transfert de matière et de chaleur pour une nouvelle technologie d'absorbeur à contre courant
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 82, Pp. 145-154

PHOWCHINDA O., STREHAIANO P., SEABAE N., VORAPREEDA T.
Influence of temperature on xanthan production by Xanthomonas campestris TISTR 1100
Comm. 11th World Congress of Food Science and Technology, SEOUL (Corée), 22-27.04.01

POLAERT I., WILHELM A-M., DELMAS H.
Phénol wastewater treatment by a two-step adsorption-oxidation process on activated carbon
Comm. International Symposium Multi-functional Reactors 2, NUREMBERG (Allemagne), 26-28.06.01

RAMON PORTUGAL F., DA SILVA S., STREHAIANO P., TAILLANDIER P.
New biotechnology answers to some old problems in wine-making
Comm. 11th World Congress of Food Science and Technology, SEOUL (Corée), 22.04.01-27.04.01

ROMDHANE M., TIZAOUI C., GADRI A., GOURDON C., CASAMATTA G., OUEDERNI A., ABDERABBA M.
Conception d'une nouvelle unité de vapodistillation: extraction des huiles essentielles des grains d'anis et modélisation du transfert de matière
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 82, Pp. 163-171

ROUZINEAU D., MEYER M., PREVOST M.
Evaluation of coupled reactive distillation performences by means of a rigorous simulation procedure
Comm. ESCAPE '11, KOLDING (Danemark), 27-30.05.01

ROUZINEAU D., MEYER M., PREVOST M.
Modélisation et simulation de colonnes réactives par un nouveau modèle de transfert
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 82, Pp. 163-171

XAUMIER F., CABASSUD M.
Estimation de la biomasse à l'aide d'un réseau de neurones pour la conduite de fermenteurs
Comm. 8ème Congrès Francophone de Génie des Procédés, NANCY (France), 17-19.10.01, Vol. 15, Num. 82, Pp. 409-416

XAUMIER F., ETTEDGUI E., LE LANN M-V., CABASSUD M., CASAMATTA G.
A model-based supervisory control routine for temperature control of batch reactors: experimental results
Comm.ESCAPE'11, KOLDING (Danemark), 27-30.05.01, Vol. 9, Pp. 817-822

XAUMIER F., PREUSS L., CABASSUD M.
Estimation of specific growth rate in microbial batch culture by neural networks
Comm. EANN '01 International Conference on engineering applications of neural networks, CAGLIARI (Italy), 16-18.07.01, Pp. 39-46

2002

ALBASI C., IDRIS G., JOANNIS C., DELIA M-L.
Quantification of the biofilm at a liquid-liquid interface
Comm. Biofilm MonitoringPORTO (Portugal), 18-21.03.02, Pp. 42-45

CAMY S., BALLIVET-TKATCHENKO D., CONDORET J-S.
Investigation on a new process for dimethyl carbonate using supercritical CO2
Comm. 4th International Symposium on High Pressure Process Technology and Chemical Engineering, VENISE (Italie), 22-25.09.02

DEVATINE A., GABAS N., CANSELIER J-P.
Removal of tartaric and malic acids by calcium salt precipitation
Comm. International Symposium on Industrial Crystallization 2002, SORRENTO (Italie), 30.09.02

DIETZ A., JULCOUR C., WILHELM A-M., DELMAS H.
Selective hydrogenation in trickle-bed reactor: experimental and modelling including partial wetting
Comm. CAMURE 4 (4th International Symposium on Catalysis in Multiphase Reactors), LAUSANNE (Suisse), 22-25.09.02

DUBREUIL B., CICANI A., MOLINIÉ A., PFOHL-LESZKOWICZ A., TALOU T.
Study of volatile metabolites generated by mycotoxins in wheat using electronic noses and GC-MS.
Comm. ISOEN, ROME (Italy), 29.09-02.10.02, Pp. 112-113

ELGUE S., PRAT L., CABASSUD M., LE LANN J-M., CEZERAC J.
Optimisation of a methyl acetate production process by reactive batch distillation
Comm. 12th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, THE HAGUE (Netherlands), 26-30.05.02, Pp. 475-480

FAKHFAKH N., COGNET P., CABASSUD M., CASAMATTA G.
Recherche de conditions opératoires optimales pour des procédés de synthèse en chimie fine
Comm. SIMO 2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

FERGANI F., KORABI S., AHMED ZAÏD T., CHITOUR C-E., CANSELIER J-P.
Sulfation of alcohol ethoxylates in a laboratory-scale falling-film reactor
Comm. XXXII Jornadas anuales del Comité Español de la Detergencia, BARCELONE (Espagne), 11-13.04.02

ISSANCHOU S., COGNET P., CABASSUD M.
Stratégies expérimentales pour l'estimation précise des paramètres de modèles cinétiques en milieu hétérogène
Comm. SIMO 2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., BISCANS B., CABASSUD M., DAVIN A., DOMENECH S.
A design of experiments for uncertainty on calcium phosphate precipitation
Comm. SIMO 2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

PECHAVY M., MATHIEU F., LEBRIHI A.
Evolution of the toxinogenic fungi producing of ochratoxin A during the maturation of the grape in french vineyards
Comm. Xth International Congress of Mycology, PARIS (France), 27.07-01.08.02

POMMIER S., ALBASI C., STREHAIANO P., DELIA M-L.
Modelisation of killer yeast systems: quantification of mixed culture dynamics with a specific membrane bioreactor
Comm. Foodsim 2002, 2d International Conf., BALRNEY CORK (Irlande), 30.06.02, Pp. 197-201

PREUSS K., LE LANN M-V., CABASSUD M., CASAMATTA G., ANNE-ACHARD G.
Commande et supervision des réacteurs discontinus d'un atelier en industrie pharmaceutique
Comm. SIMO 2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

2003

AUBIN J., FLETCHER D.F., BERTRAND J., XUEREB C.
Effect of Geometry on the Mixing Quality in Micromixers
Comm. 11th European Conference on Mixing, Bamberg, DÜSSELDORF (Germany), 15-17.10.03, Pp. 339-346

AHMED ZAID T., BENSARI L., BENMAZA K., CHITOUR C.E., CANSELIER J-P.
Response surface methodology as an approach to optimization of a dishwashing detergent
Comm. XXXIII Jornadas anuales del Comite Espanol de la Detergencia VALENCIA (Espana),
Comptes-rendus, CED.Ed. BARCELONE (Espagne), 26-28.03.03, pp.169-184

BEJAOUI H., MATHIEU F., TAILLANDIER P., LEBRIHI A.
Ochratoxin A removal by microorganisms isolated from grape or used in wine making process
Comm. VIIth International Oenology Symposium, BORDEAUX (France), 19-21.06.03, Pp. 685-687

ELGUE S., CABASSUD M., PRAT L., LE LANN J-M., CEZERAC J.
A global approach for the optimisation of batch reaction-separation process
Comm. 13th European Symposium on Computer Aided Process Engineering ESCAPE 13, LAPEENRANTA (Finland), 01-04.06.03

ESQUERRE V., CRISTOL B., ROUSSEAUX J-M., BERTRAND J., XUEREB C.
Experimental Investigation of the Hydrodynamics in a Continuous 16-Stage Stirred Vessel
Comm. 11th European Conference on Mixing, Bamberg DÜSSELDORF (Germany), 15-17.10.03, Pp. 597-604

FAKHFAKH N., COGNET P., CABASSUD M.
Modélisation stoechio-cinétique d'une synthèse chimique: Application à la condensation aldolique du furaldéhyde sur l'acétone
Comm. 9ème congrès SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

MONTASTRUC L., AZZARO-PANTEL C., DAVIN A., PIBOULEAU L., CABASSUD M., DOMENECH S.
A hybrid optimization technique for improvement of P-recovery in a pellet reactor
Comm. 13th European Symposium on Computer Aided Process Engineering ESCAPE 13, LAPPEENRANTA (Finland), 01-04.06.03, Pp. 779-784

PECHAVY M., BEJAOUI H., MATHIEU F., NGYUEN BAO L., ROSET M., LEBRIHI A.
Evolution de la population des champignons toxinogènes et suivi de la production d'OTA pendant la maturation des grappes de raisin
Comm. VIIth International Oenology Symposium, BORDEAUX (France), 19-21.06.03, Pp. 549-552

RUBIO C., LE SAUZE N., POUX M.
Caractérisation globale de systèmes aérés multiétagés – importance du mobile de dispersion dans le cas de fluides visqueux non-newtoniens
Récents Progrès en Génie des Procédés (Lavoisier, Tec. Doc. Paris), 2003, Vol. 15, Num. 80, Pp. 219-226

SABONI A., ALEXANDROVA S., GOURDON C.
Heat transfer from a fluid sphere: the effect of the continuous phase viscosity ratio
Comm. 9ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03, Pp. 1142-1149

SERRA A., STREHAIANO P., TAILLANDIER P.
Microvinifications by hybrides S. cerevisiae x S. uvarum: comparison with parental strains
Comm. XIIth Internationa Oenology Symposium, BORDEAUX (France), 19-21.06.03, Pp. 305-307

ZITOUNI A., SABAOU N., BOUDJELLA H., BADJI B., MATHIEU F., COPPEL Y., PONT F., LEBRIHI A.
Nouveaux antibiotiques du groupe des anthracyclines produits par une souche de Saccharotrix sp. d'origine saharienneComm. Journées Scientifiques de Biotechnologies, SETIF (Algérie), 29-30.04.03

2004

DAO H-P., MATHIEU F., GUYONVARCH A., LEBRIHI A.
Diversity of polyketide synthase gene sequences in Ochratoxin A producer Aspergillus ochraceus
Comm. XIème International IUPAC Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins, BETHESDA (USA), 17-21.05.04

FERREIRA DE LA SALLES W., CANSELIER J-P., GOURDON C.
A new process for the manufacture of alkanesulfonates
Comm. 6th World Surfactant Congress CESIO 2004, BERLIN (Germany), 20-23.06.04

FERREIRA DE LA SALLES W., CANSELIER J-P., GOURDON C., TAZEROUTI A.
An alternative process for the manufacture of alkanesulfonatesComm. XXXIV Jornadas anuales del Comité Espanol de la Detergencia, BARCELONA (Espana), 24-26.03.04, Pp. 339-348

SUPAKA N., JUN TONG JIN K., DAMRONGLERD S., DELIA M-L., STREHAIANO P.
Feasability of a sequencing batch fluidized bed reactor with immobilized paenibacillus strains for treatment of synthetic textile wastewater
Comm. 9th Asian Conference on Fluidized bed and Three-phase Reactors, TAIPEH (Taiwan), 21-24.11.04, Pp. 415-420

2005

ALBASI C., MEIRELES M., LAFFORGUE C., GESAN-GUIZIOU G., CARRERE H.
Réduction de boues d'épuration: caractérisation biophysicochimiques de boues issues de filières conventionnelles et de différents bioréacteurs à membranes
Récents Progrès en Génie des Procédés, 2005, Num. 92, ISBN 2-910239-66-7

BAUSSARON L., JULCOUR-LEBIGUE C., WILHELM A-M., BOYER C., DELMAS H.
Ecoulement ruisselant sur une monocouche de billes en mouillage, partie I
Comm. FLUVISU 11, colloque de visualisation et traitement d'images en mécanique des fluides, Ecole Centrale LYON (France), 7-9.06.05

BAUSSARON L., ROUCH C., JULCOUR-LEBIGUE C., WILHELM A-M., BOYER C., DELMAS H.
Etude locale du phénomène de mouillage partiel d'une monocouche de billes
Comm. 10ème congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

CANADAS D., DUBOIS M., COSTE C., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Décontamination du blé en ochratoxine A par le procédé Oxygreen® , étude toxicologique
Récents progrès en génie des procédés, Lavoiser, Paris, 2005, Num. 92

CANSELIER J-P.
Surfactants for oil, oil for surfactants
Comm. CID, ROMA (Italie), 22-24.06.05

DAO H-P., MATHIEU F., LEBRIHI A.
Diversité des gènes pks chez Aspergillus ochraceus producteur d'ochratoxine et d'acide pénicillique
Comm. Société Française de Mycologie, MARSEILLE (France), 02-04.02.05

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Polyethoxylated nonionic surfactants derived from Oxo-alcohols: effect of various additives on the cloud point
Comm. XXXIes Journées d'Etude des Equilibres entre Phases, BARCELONE (Espagne), 31.03-01.04.05, Pp. 191-192

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Séparation de composés aminés par extraction à deux phases aqueuses
Comm. 10ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

HADDOU B., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Two-aqueous phase extraction of phenol and benzyl alcohol from effluents
Comm. 1er Congres International sur l'Environnement, BEJAIA (Algérie), 2005
Comm. 1st Aïn Shams International Conference on Environmental Engineering, LE CAIRE (Egypte), 09-11.04.05

Département Réaction, Mélange, Séparation (RMS)

HADDOU B., TEIXEIRA DA SILVA DE LA SALLES K., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Prediction of the cloud point of H20.nonionic surfactant systems by the Flory-Huggins-Rupert theory
Comm. XXXIes Journées d'Etude des Equilibres entre Phases, BARCELONE (Espagne), 31.03-01.04.05, Pp. 21-22

KHODJA M., HAFID S., CANSELIER J-P.
A Diagnostic of the Treatment and Disposal of Oil Well Drilling Waste
Comm. WasteEng 05, ALBI (France), 17-19.05.05

KHODJA M., SABER M., SEBTI A., CANSELIER J-P., AHMED ZAID T., KHODJA-SABER M., KARTOUT M.
Drilling muds: surfactant performances in reverse emulsions
Comm. XXXIV Jornadas anuales del Comité Espanol de la Detergencia, BARCELONA (Espana), 07-08.04.05, Pp. 221-235

LADEVEZE F., LOUBIERE K.,AUBIN J., FLETCHER D-F., XUEREB C.
Etude de Microréacteurs: Influence des conditions hydrodynamiques sur le taux de conversion d'une réaction chimique
Comm. 10ème congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05, Vol. 92

PLAIS C., BILLET A-M., JULCOUR-LEBIGUE C., DELMAS H.
Etude du transfert gaz-liquide en présence d'une troisième phase finement divisée
Comm. 10ème congrès de la Société Française de Génie des Procédés, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

SUWANPRASOP S., EFTAXIAS A., STÜBER F., POLAERT I., JULCOUR-LEBIGUE C., DELMAS H.
Scale-up and Modeling of Fixed-Bed Reactors for Catalytic Phenol Oxidation over Adsorptive Active Carbon
Comm. CAMURE 5 & ISMR 4 (5th International Symposium on Catalysis in Multiphase Reactors & 4th International Symposium on Multifunctional Reactors), PORTOROSE (Slovénie), 15-18.06.05

COMMUNICATIONS SANS ACTES

2001

AUBIN J., LE SAUZE N., FLETCHER D-F., BERTRAND J., XUEREB C.
Hydrodynamics in an Aerated Tank Stirred by a Down- and Up-Pumping axial Impeller
Comm. 5th International Conference on Gas-Liquid and Gas-liquid-solid reactor Engineering, MELBOURNE (Australia), 23-27.09.01

BERTRAND N., MAURY F., DUVERNEUIL P.
Sn02 coated particules prepared by Fluidised Bed Chemical Vapor Deposition
Comm. EMRS 2001, STRASBOURG (France), 30.07.01

CABASSUD M., COGNET P.
Méthodologie pour la conduite des Réacteurs batch
Comm. Journée SFGP, MONTPELLIER (France), 10.09.01

TAILLANDIER P., TATARIDIS P., MATHIEU F., STREHAIANO P.
Etude des interactions microbiennes pour la maîtrise de la fermentation malo-lactique
Comm. 11ème réunion du club des bactéries lactiques, BORDEAUX (France), 14-16.11.01

2002

ALLIET-GAUBERT M., LE SAUZE N.
Caractérisation des écoulements dans un mélangeur statique de type SMX
Comm. VIème rencontre utilisateur Fluent, PARIS (France), 17.10.02

ALLIET GAUBERT M., LE LANN M-V.
Installation pilote de Conduite thermique d'une cuve agitée
Comm. SIMO 2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

AZIRA H., ASSASSI N., MEZIANE D., FERREIRA DE LA SALLES W., TAZEROUTI A., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Synthesis, analysis and properties of single-length chain alkanesulfonates by photosulfochlorination with sulfuryl chloride
Comm. SFC Eurochem 2002, TOULOUSE (France), 08-11.07.02

BELHABRI M., LEGRAND J.,LE SAUZE N., ARHALIAS A.
Mesure de la taille moyenne d'inclusions dans les systèmes dispersés par rétrodiffusion de la lumière
Comm. 3ème Congrès mondial sur l'émulsion, LYON (France), 24-27.09.02

CASTRO MARTINEZ C., ESCUDERO ABARCA B., AGUILAR USCANGA M.G., DELIA M-L., STREHAIANO P.
Establecimeinto de las condiciones de fermentacion para la produccion de acido acetico por una levadura del genero Brettanomyces
Comm. 3er Simposio Internacional sobre Ingeneria de Bioprocesos, CUERNAVACA (Mexique), 03-04.12.02

DELMAS H., DUQUENNE A-M.
Les colonnes à bulles: simulations numériques et expériences associées
Comm. 4èmes Journées Francophones sur les Réacteurs gaz-liquide et gaz-liquide-solide, HERBEUMONT SUR SEMOIS (France), 08-11.02

DIAZ MONTANO D-M., DELIA M-L., STREHAIANO P., GSCHAEDLER A.
Comparison of the behavior and characteristics of two yeast strains isolated from the tequila industry
Comm. 22th ISSY, International Symposium on yeasts, PILANESBERG (Afrique du Sud), 25-28.03.02

DIAZ MONTANO D-M., GSCHAEDLER A., DELIA M-L., STREHAIANO P., ESCALONA H., VILLANUEVA S.
Identification of yeast strains producers of aroma compounds in tequila
Comm. 10th Werman Flavour Research Symposium, INRA, BEAUNE (France), 24-28.06.02

ESQUERRE V., BARRUE H., BERTRAND J., CRISTOL B., BEGON G., XUEREB C.
Hydrodynamics of dense hydrate suspensions in precipitatorsComm. 6th InternationalAlumina Quality Workshop, BRISBANE (Australie), 08-13.09.02

HADDOU B., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Extraction par point de trouble: système phénol.tensio-actif polyéthoxylé (C12E6)
Comm. SAC '2002, SETIF (Algérie), 14-16.05.02

HADDOU B., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Removal of pollutants by two-aqueous phase extraction
Comm. 14th Surfactants in Solution Symposium, BARCELONA (Spain), 09-14.06.02

JULCOUR-LEBIGUE C., WILHELM A-M., DELMAS H.
Upflow versus downflow operation for three phase exothermal and consecutive catalytic reactions
Comm. Workshop "Trickle-bed reactors for cleaner and greener environment", DELHI (Inde), 6-8.11.02

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Measurement of single DNA strand breaks and DNA adducts in dab (Limanda limanda) for the assessment of in situ exposure to genotoxic compounds
Comm. 29th AquaticToxicology Workshop, Whistler, BRITISH COLUMBIA (Canada), 20-23.10.02

POUX M., LE SAUZE N., ALBAN B., XUEREB C., CANSELIER J-P.
Les procédés d'émulsification: présentation et comparaison de différents systèmes
Comm. 3ème Congrès Mondial de l'émulsion, LYON (France), 24-27.09.02

PRAT L., GOURDON C., MORCHAIN J., RIGAL L.
Transport d'un mélange polyphasique végétal-solvant dans un extrudeur bivis. Simulateur Dynamique et validation expérimentale
Comm. SIMO 2002, TOULOUSE (France), 24-25.10.02

WAZ E., LE BRUN P., XUEREB C., BERTRAND J.
Etude du dégazage de l'aluminium
Comm. Congrès Matériaux, TOURS (France), 21-25.10.02

2003

DUMONT E., KUNDU A., DUQUENNE A-M., DELMAS H.
Absorption de l'oxygène en systèmes multiphasiques
Conf. 9ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

EL ADLOUNI N-M., FAID M., FAUCET V., PFOHL-LESZKOWICZ A.
Mise en évidence de l'implication de l'Ochratoxine A dans le cancer rénal chez l'homme par la technique de détection des adduits à l'ADN
Conf. 3ème Congrès de Génétique et Biologie Moléculaire, TANGER (Maroc), 12.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Evaluation de la contamination des blés en ochratoxine et citrinine, en fonction des modes de stockage, Résultats préliminaires sur l'intérêt de développement de nez électroniques
Conf. Réunion pôle sécurité alimentaire, Région Midi-Pyrénées, BOUSSENS (France), 20-21.02.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Risque lié aux mycotoxines de stockage: Evaluation du risque
Conf. ARVALIS, PARIS (France), 30.04.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Study of the effects of biotic and abiotic factors on the extent of DNA strand breaks and DNA adducts in the marine flatfish, Limanda limanda
Conf. 12th International Symposium on Pollutant Responses In Marine Organisms, PRIMO 12, TAMPA FLORIDA (USA), 09-13.05.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Mécanismes moléculaires impliqués dans la génotoxicité de l'ochratoxine A
Conf. Workshop on mycotoxin, UPSALLA (Suède), 06.03

WAZ E., CARRE J., LE BRUN P., JARDY A., XUEREB C., ABLITZER D.
Physical modeling of the aluminum degassing process: experimental and mathematical approaches
Comm. Light Metals, VANCOUVER (Canada), 24-27.08.03

2004

AUBIN J., FLETCHER D-F., XUEREB C.
Optimal Design of Microreactors Using CFD Modelling
Comm. 5th International Symposium on Mixing in Industrial Processes (ISMIP5), SEVILLE (Spain), 01-04.06.04

BILLET A-M.
Evaluation du caractère intrusif d'une sonde optique à l'aide de l'analyse d'images
Conf. 6ème Journée thématique FERMaT "Méthodes optique appliquées à l 'analyse des écoulements et des populations, SEILH (France), 06.12.04

CANSELIER J-P.
L'extraction à deux phases aqueuses: un procédé de dépollution et de séparation
Conf. Réseau "Systèmes Colloïdaux" Communauté de Travail des Pyrénées, BARCELONE (Espagne), 24.03.04

DE BARROS NETO E-L., HADDOU B., CANSELIER J-P., GOUDRON C., GUMILA C.
L'extraction à deux phases aqueuses: une technique simple et efficace pour la dépollution d'effluents
Conf. Journées Techniques: traitement des effluents industriels INSA, TOULOUSE (France), 02-03.06.04

DIAZ-MONTAÑO D., ESTARRON-ESPINOSA M., ESCALONA H., GSCHAEDLER A., DELIA M-L, STREHAIANO P.
Influence of yeast strain and nitrogen source on aromatic compounds production in Tequila fermentation
Comm. ICY 2004, Eleventh International Congress on Yeasts, RIO DE JANEIRO (Brésil), 15-20.08.04

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Sur quelques propriétés physicochimiques des alcools polyéthoxylés et une application en extraction par coacervat
Conf. Journée Jeunes Chercheurs, SFC, TOULOUSE (France), 29.04.04

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Two-aqueous phase extraction of homologous and isomeric organic compounds
Conf. 15th Surfactants in Solution Symposium, FORTALEZA (Brasil), 06-11.06.04

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Polyethoxylated nonionic surfactants: surface and thermodynamic properties and effect of various additives on the cloud point
Conf. 6th World Surfactant Congress CESIO 2004, BERLIN (Germany), 20-23.06.04

DUARTE L-J-N., CANSELIER J-P.
Alcools Oxo polyéthoxylés: propriétés thermodynamiques superficielles, micellation et effet de divers additives sur le point de trouble
Conf. 14ème Journée de la Société Française de Chimie "Grand Sud-Ouest", TOULOUSE (France), 26.11.04

DUMBRAVA V., NICOARA B., SCUTARIU M., DUQUENNE P.
Algorithm for the critical point assesment in the romanian power system
Conf. Regional conference and exhibition on electricity distribution, HERCEG NOVI (Montenegro), 05-08.10.04

FERRAG F., HADJADJ-AOUL O., BELKADI M., TALAMALI R., CANSELIER J-P.,
Lessivage de la silice amorphe à base de diatomite d'Algérie pour sa valorisation en substance auxiliaire pharmaceutique
Conf. CIRP, MONASTIR (Tunisie), 2004

GARCIA-CORTES D., XUEREB C., TAILLANDIER P., JAUREGUIHAZA U-J., BERTRAND J.
Hydrodynamic characterization of the flow induced by dual-turbine in a gas-liquid agitation system using LDV
Comm. 5th International Symposium on Mixing in Industrial Processes (ISMIP5), SEVILLE (Spain), 31.05-04.06.04

KUMAR A., AUBIN J., GOGATE P-R., PANDIT A-B., WILHELM A-M., DELMAS H.
Mapping of Acoustic Streaming in Sonochemical Reactors
Comm. 9th Meeting of the European Society of Sonochemistry, BADAJOZ (Espagne), 25-30.04.04

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Work shop sur l'ochratoxine
Conf. Work shop sur l'ochratoxine, BRUXELLES (Belgique), 27-29.01.04

POMMIER S., STREHAIANO P., DELIA M-L.
Influence of the initial ratio of killer.sensitive Sc. cerevisiae on killer effect dynamics: from a new experimental device to modeling
Comm. ICBF-2004, International Conference on Bioprocesses in Food industry, CLERMONT-FERRAND (France), 11-13.07.04

SARDEING R.,POUX M.,XUEREB C.
Gas-Liquid mass transfer: influence of sparger location
Comm. 5th International Symposium on Mixing in Industrial Processes (ISMIP5), SEVILLE (Spain), 31.05-04.06 04

TAILLANDIER P., MATHIEU F., STREHAIANO P.
Méthodologies pour l'étude d'interactions microbiennes en fermentation: application à des couples levures-bactéries
Comm. AGORAL 2004, NANTES (France), 29-30.11.04

TAILLANDIER P., TATARIDIS P., GOSAARAX S., MATHIEU F., STREHAIANO P.
Mixed cultures between wine microorganisms using a membrane bioreactor
Comm. International Congress on Biotechnology in Food Industry, CLERMONT-FERRAND (France), 11-13.07.04

TEIXEIRA DE LA SALLES K., CANSELIER J-P., GOURDON C.
Characterization of phase separation in a two-aqueous system by a new optical technique
Conf. 15th Surfactants in Solution Symposium, FORTALEZA (Brasil), 06-11.06.04

TEIXEIRA DE LA SALLES K., CANSELIER J-P., GOUDRON C.
Phase separation studies in a two-aqueous phase system containing a nonionic surfactant
Conf. 6th World Surfactant Congress CESIO 2004, BERLIN (Germany), 20-23.06.04

VAN KAAM R., HERNANDEZ ROJAS M-E., SCHETRITE S., LORAIN O., ALBASI C.
Influence of process parameters in a sequenced membrane bioreactor to prevent membrane fouling in waste water treatment. Interest of an external test
Conf. World Filtration Congress 9, NEW ORLEANS (USA), 18-24.04.04

XUEREB C., AUBIN J., LADEVEZE F., FLETCHER D.
Microréacteurs: quelles nouvelles possibilités pour la réaction chimique ?
Journée GT Réacteurs de la SFGP, PARIS (France), 09.04

2005

BENAISSA W., GABAS N., CABASSUD M., DEMISSY M., CARSON D.
Operation of an exothermic reaction in a continuous intensified reactor
Comm. 6th International Conference on Process Intensification, DELFT (The Netherlands), 27-29.09.05

CORTES ROBBLES G., NEGNY S., LE LANN J-M.
Management of innovation in Chemical Engineering with TRIZ theory
Comm. 7th Congress of Chemical Engineering, 30.07.05

PRAT L., COGNET P., CABASSUD M., GOURDON C., CHOPARD F.
Performances evaluation of a new concept 'Open plate reactor' in non conventional experimental domain
Comm. 6th International Conference on process Intensification, DELFT (The Netherlands), 27-29.09.05

REVERTE C., DIRION J-L., LOULOU T., CABASSUD M.
Détermination de modèles stoechio-cinétiques des réactions de dégradation thermique
Comm. 10ème congrès de la SFGP, TOULOUSE (France), 20-22.09.05

Département Réaction, Mélange, Séparation (RMS)

CONFERENCES INVITEES

2001

AGUILAR USCANGA M.G., STREHAIANO P., DELIA M-L., ESCUDERO B.
Influencia de la concentration inicial de glucosa en la production de etanol y biomasa de Brettanomyces bruxellensis
Conf. IX CongresoNacional de Biotecnologia y BioenGénieria - XIII Congreso Nacional de InGénieria Bioquimica - II Congreso Internacional de InGénieria Bioquimica, VERACRUZ (Mexique), 10-14.09.01

BERTRAND J.
Les apports de la méthodologie du Génie des Procédés dans des cas concrets
Conf. Ecole Polytechnique, PARIS (France), 30.11.01

CANSELIER J-P., AHMED ZAID T., CHITOUR C.E.
Optimisation de la formulation de détergents ménagers assistée par plans d'expériences
Conf. Journée Université.Industrie ASPA, PARIS (France), 07.06.01

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Balkan endemic nephropathy:possible etiologies
Conf. Gordon Conference on Mycotoxin, WILLIAMSTONE (USA), 25–30.06.01

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Enjeux économiques et sanitaires des mycotoxines en 2001-2002
Conf. Nouvelles techniques de traçabilité et de contrôle des Mycotoxines, Development Institute international, PARIS (France), 16-17.10.01

POUX M.
La caractérisation du mélange de liquides dans une cuve agitée
Conf. Journées Euroforum " Homogénénéité et stabilité des mélanges " Paris, 27-28 .11.01

POUX M.
Agitation et mélange dans les Procédés industriels
Conf. Journées Technologiques en Agitation et Mélange, SAINT-NAZAIRE (France), 14.06.01

RAMON-PORTUGAL F., TAILLANDIER P., SEILLER I., FAVAREL J-L., NEPVEU F., STREHAIANO P.
Evaluation de l'activité acidifiante ou désacidifiante de levures oenologiques
Conf. Journée technique régionale Institut Technique du Vin, TOULOUSE (France), 29.03.01

STREHAIANO P., TAILLANDIER P., RAMON-PORTUGAL F.
Nouvelles utilisations de levures Schizosaccharomyces encapsulées pour la désacidification de moûts de raisin
Conf. Journée technique régionale Institut Technique du Vin, TOULOUSE (France), 29.11.01

XUEREB C.
Les techniques de fabrication des émulsions
Conf. Journées EUROFORUM, PARIS (France), 12-13.06.01

2002

CANSELIER J-P.
Comparaison des principaux procédés d'émulsification
Conf. Euroforum "Prédire et contrôler la stabilité de vos produits ", PARIS (France), 26-27.11.02

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Some mechanistic studies demonstrating potencial implication of mycotoxins in BEN and urothelial tract tumors
Conf. Balkan endemic nephropathy, BELGRADE (Yougoslavie), 25-27.04.02

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Méthylation de l'ADN et expression génique
Conf. Forum de la SFTG, Génotoxiques indirects:mechanisms d'action et evaluation du risques, MONTPELLIER (France), 07-08.10.02

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Occurrence of ochratoxin A and citrinin in wheat. Role of co-contamination on toxicity and renal tumors
Conf. ICC.IRTAC cereal conference 2002: New strategies to improve cereal and cereal products quality with highlights on safe and healthy products", PARIS (France), 10-11.10.02

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Manipulation des substances cancérogènes
Conf. CPE, ISARA, LYON (France), 26.11.02

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Evaluation de la contamination des blés français en mycotoxines en fonction des mode de stockage: Evaluation des risques, dernières avancées réglementaires et techniques d'analyse des mycotoxines
Conf. Nouveaux dispositifs de maîtrise des contaminants alimentaires, Development Institute International, 28-29.11.02

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Mycotoxines et cancérogenèse
Conf. 10 ème Rencontre en toxinologie, Toxines et recherches biomédicales, PARIS (France), 05-06.12.02

2003

ALBASI C.
Les bioréacteurs à membranes, procédés intensifs.extensifs ?
INRA-GSPM 22.10.03

BERTRAND J.
Conclusions Scientifiques du Congrès
Conf. Congrès SFGP, SAINT-NAZAIRE (France), 09-11.09.03

CANSELIER J-P.
Ultrasons et formulation: préparation de systèmes dispersés
Conf. 10es Journées de Formulation, TOULOUSE (France), Num. 12, 17-18.11.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Risques mycotoxines, moyen de prevention
Conf. Les rencontres du savoir faire, LANDERNEAU (France), 04.02.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
a)Impact of simultaneous contamination of wheat by ochratoxin a and citrinin on toxic effects
b) Presence of ochratoxin A, citrinin and fumonisin B1 in French breakfast cereals. Comparison of analysis using or not immunoaffinity clean-up before HPLC
Conf. 1st Panamerican Symposium on Mycotoxins in industry, MEXICO (Mexique), 01-04.04.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
a)Advantages and drawbacks of immunoaffinity columns in analysis of mycotoxins in food.
b)Simultaneous presence of ochratoxin a and citrinin in cereal products. Implication in toxicity and renal tumors
Conf. Gordon Conference on Mycotoxins & Phycotoxins, WATERVILLE (USA), 16-20.06.03

PFOHL-LESZKOWICZ A.
DNA adducts as a biomarker of pollution -Field study on the genotoxic impact evolution of the Erika oil spill on mussels (Mytilus edulis) over a period of 11 months
Conf. ISPAC, AMSTERDAM (Hollande), 26-27.09.03

XUEREB C.
Microrreactores: una alternativa realista ?
Conf. 1er séminaire Franco-Cubain de Génie des Procédés, LA HAVANE (Cuba), 01.08.03

2004

PFOHL-LESZKOWICZ A.
a)Correlation between DNA adduct formation and biotransformation of ochratoxin a in opposum kidney cells and by several pig organs microsomes
b)Analysis of ochratoxin a in serum, urine and in food consumed by inhabitants from an area with balkan endemic nephropathy: a one month follow up study
Conf. International IUPAC Symposium on mycotoxins and phycotoxins, BETHESDA (USA), 17-21.05.04

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Mass spectrometry evidence of time-dependant formation of OTA metabolites in presence of pig microsomes
Conf. Joint Speciality Symposium on Renal Toxicology and Toxicologic Pathology: An Integration of Mechanistic Investigation on Morphological Evaluation, LINDAU (Germany), 26.09-02.10.04

XUEREB C. ESQUERRE V.
Hydrodynamics and Fouling in a Continuous 16-stage Stirred Tank
Conf. Jubilée Pr. A.W. Nienow, BIRMINGHAM (U.K.), 18.09.04

2005

ALBASI C.
La conception et la conduite des bioréacteurs à membrane
Conf. Journée CFM (Club Français des Membranes), ENSCP, PARIS (France), 10.05.05

CANSELIER J-P.
Des tensio-actifs pour le pétrole, du pétrole pour les tensio-actifsConf. Journée Scientifique "Pétrole et tensio-actifs ", BOUMERDES (Algérie), 29.01.05

PFOHL-LESZKOWICZ A.
Ecological factors regulating growth and production of mycotoxins
Conf. French mycological society, MARSEILLE (France), 02-04.02.05

BREVETS

2002

MELEN S., XUEREB C., POUX M., SARDEING R.
Dispositif d'agitation d'un liquide et d'injection d'un gaz dans ce liquide à engorgement limité
FR 02-15733, 12.12.02

2003

LEBRIHI A., MATHIEU F., BORGIDA L-P., GUYONVARCH A-M.
Method for the detection of ochratoxin A- or citrinin-producing fungi
2003, Patent number EP1329521-A.20

2004

AVRILLIER P., XUEREB C., SARDEING R., POUX M.
Dispositif d'injection d'un gaz dans un liquide
FR 04-50660, 02.04.2004

BELHABRI M., LE SAUZE N., ALHARIASS A., LEGRAND J.
Procédé et dispositif de mesure en ligne des caractéristiques d'un système disperse liquide-liquide ou liquide-solide contenu dans une installation principale
FR 03 10558, 07.09.2004

CONDORET J-S.
Oxydation de polysaccharides en C02 supercritique
FR 0408402, 01.07.2004

THESES ET HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

2001

ANDREUX R.
Etude expérimentale et numérique d'un séparateur gaz-solide en sortie du riser d'un pilote froid de FCC
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 20.11.01
Dirigée par HEMATI M.

AUBIN CANO J.
Mixing capabilities of down and up pumping axial flow impellers in single phase and gas-liquid systems: experimental and CFD studies
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 20.12.01
Dirigée par XUEREB C.

AUGIER F.
Structure locale du champ hydrodynamique dans les écoulements dispersés liquide-liquide concentrés
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 19.07.01
Dirigée par GOURDON C.

BERTRAND N.
Dépôt d'oxyde d'étain sur des poudres. Fabrication d'électrodes spécifiques et de catalyseurs
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 20.07.01
Dirigée par DUVERNEUIL P.

BORDES C.
Caractérisation optique de milieux dispersés concentrés sous écoulement
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 13.12.01
Dirigée par BISCANS B.

BRANDAM C.
Optimisations des conditions opératoires d'un procédé de brassage: étude expérimentale et modélisation
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 14.12.01
Dirigée par PINGAUD H.

BRICENO M-I.
Effets combinés de la physico-chimie et de l'hydrodynamique dans la préparation des émulsions concentrées
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 02.03.01
Dirigée par BERTRAND J.

CARRERE H.
Procédés de séparation pour l'industrie agroalimentaire et l'environnement
Habilitation à Diriger des Recherches, INP TOULOUSE (France), 20.09.01

CAUQUIL M.J.
Capteurs électrochimiques à détection ampérométrique pour des composés oxygènes mono carbones oxydables en phase liquide ou en phase vapeur
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 17.07.01
Dirigée par COMTAT M.

DEDIEU S.
Algorithme génétique multicritère: conception et remodelage d'ateliers de chimie fine
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 06.07.01
Dirigée par PIBOULEAU L.

DOUNIT S.
Combustion du gaz naturel en réacteur à lit fluidisé: étude expérimentale et modélisation de la zone dense et de la zone de désengagement
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 09.03.01
Dirigée par HEMATI M.

FUMEY M.
Méthode d'évaluation des risques agrégés: application au choix des investissements de renouvellement des installations
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 05.01.01
Dirigée par LACOSTE G.

GARCIA F.
Elaboration de suspensions microniques de carbonate de calcium à propriétés contrôlées par broyage en voie humide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 12.12.01
Dirigée par BISCANS B.

HAMMADI K.
Analyse expérimentale modélisation et simulation des échangeurs de chaleur à plaques brasées utilisés comme condenseurs à reflux
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 07.11.01
Co-dirigée par JOULIA X. et PREVOST M.

IDRIS G.
Quantification du développement d'un biofilm bactérien à une interface liquide-liquide. Méthodes et applications
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 20.12.01
Dirigée par RIBA J-P.

LAFOUGERE FRANCES C.
Broyage en voie humide
Habilitation à Diriger des Recherches, INP TOULOUSE (France), 30.03.01

LETELLIER B.
Conception et développement d'un procédé générique de fabrication de dispersions aqueuses de résines en cuves mécaniquement agitées
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 15.09.01
Dirigée par BERTRAND J.

LIM Y.
Méthodes de maillage adaptatif pour la résolution des équations Différentielles partielles. Application à la simulation de la dynamique des systèmes
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 30.10.01
Dirigée par JOULIA X.

NIETO J.P.
Analyse et modélisation d'un réacteur de CVD à fonctionnement continu: application au dépôt de Si02 pur et dopé
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 16.02.01
Dirigée par COUDERC J. P.

OTMANI A.
Étude d'un procédé combiné zone-boues activées pour le traitement d'effluents papetiers dans un réacteur air-lift
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 20.12.01
Dirigée par DELMAS H.

PRATA VIDAL M.
Étude expérimentale et modélisation d'un réacteur à membrane pour l'hydrolyse trypsique d'un caseinomacropeptide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 29.01.01
Dirigée par AIMAR P.

PREUSS K.H.
Modélisation et contrôle des réacteurs discontinus alimentés: application au développement d'outils industriels
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 21.03.01
Dirigée par LE LANN M-V.

TATARIDIS P.
Étude des interactions entre micro-organismes du vin: du qualitatif au quantitatif
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 05.11.01
Dirigée par TAILLANDIER P.

WAZ E.
Approches lagrangienne et expérimentale des écoulements gaz-liquide en cuve agitée. Application à un procédé de purification de l'aluminium liquide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 18.01.01
Dirigée par XUEREB C.

2002

AMARA N.
Cristallisation de l'alun de potassium sous ultrasons de puissance
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 31.05.02
Dirigée par WILHELM A-M.

AMARO GONZALEZ E.
Contrôle des propriétés des poudres de lobenzarit disodique par la mise en oeuvre de procédés non conventionnels de cristallisation
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 04.07.02
Co-dirigée par BISCANS B. et TOLEDO RIVERO A.

BELAUD J.P.
Architectures et technologies des systèmes logiciels ouverts. Cape-open, un standard pour l'interopérabilité et l'intégration des composants logiciels de l'ingénierie des procédés
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 11.12.02
Dirigée par JOULIA X.

BONNAL P.
Planification possibiliste d'un grand projet industriel s'appuyant sur l'approche de la chaîne critique
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 25.01.02
Dirigée par LACOSTE G.

COGNET P.
Habilitation à Diriger des Recherches, INP TOULOUSE (France), 12.12.02

CORDOVA LOPEZ E.
Contribution à une approche méthodologique du processus d'innovation: application de la théorie triz aux systèmes produit-procédé-processus
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 16.07/02
Dirigée par LACOSTE G.

DANIEL C.
Dynamique des écoulements liquide-liquide oscillants en géométrie chicanée
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 10.06.02
Co-dirigée par GUIRAUD P. et LEGENDRE D.

DA SILVA S.
Hydrogénases et corrosion anaerobie des aciers
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 09.09.02
Co-dirigée par BASSEGUY R. et BERGEL A.

THESES ET HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

DEBAB A.
Effets de l'agitation sur les transferts thermiques par double enveloppe dans une cuve agitée
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 25.01.02
Dirigée par BERTRAND J.

DENIS C.
Pelliculage des comprimés pharmaceutiques en tambour rotatif: Approche expérimentale, Transposition industrielle et modélisation
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 16,01,02
Dirigée par HEMATI M.

DEVATINE A.
Maîtrise de l'acidité des vins. Désacidification par précipitation de malates de calcium et simulation des équilibres physico-chimiques à l'aide du logiciel Mextar
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 29.01.02
Dirigée par GABAS N.

ELGUE S.
Optimisation de synthèses pharmaceutiques globales intégrant les aspects environnementaux et de sécurité
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 12.11.02
Dirigée par CABASSUD M.

GEVRIN F.
Modélisation dynamique de la fluidisation solide-liquide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 18.01.02
Co-dirigée par MASBERNAT O. et SIMONIN O.

GRATIAS A.
Contribution à l'étude de l'incinération des boues résiduaires humides en réacteur à lit fluidisé: Influence des conditions opératoires sur les émissions des micropolluants gazeux et des métaux lourds
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 13.12.02
Co-dirigée par HEMATI M. et STEINMETZ D.

HUNSOM M.
Récupération du cuivre, du chrome et du nickel des effluents d'industries galvanoplastiques par techniques électrochimiques
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 09.04.02
Co-dirigée par DUVERNEUIL P. et DAMRONGLERD S.

ISSANCHOU S.
Stratégie expérimentale pour la détermination de modèles cinétiques en milieu liquide-liquide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 24.06.02
Dirigée par CABASSUD M.

JAUREGUI HAZA U-J.
Catalyse en phase aqueuse supportée. Hydroformylation d'oct-1-ene: optimisation de l'hydratation et cinétique
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 08.01.02
Dirigée par WILHELM A-M.

MASBERNAT O.
Phénomènes aux interfaces et hydrodynamique dans les contacteurs liquide-liquide et solide-liquide
Habilitation à Diriger des Recherches, INP TOULOUSE (France), 12.12.02

MASSOT L.
Elaboration de carbure de tantale par voie électrolytique en milieu de fluorures alcalins fondus
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 12.12.02
Dirigée par TAXIL P.

PRUJA S.
Prise en compte de l'incertitude dans la valorisation des projets de recherche et développement: la valeur de l'information nouvelle
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 08.11.02
Dirigée par LACOSTE G.

RHOUMA M.
Le réacteur à impacts multidirectionnels: un nouveau concept dans le transfert gaz/liquide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 06.02.02
Dirigée par DELMAS M.

RODRIGUEZ DONIS I.
Nouvelle méthode de distillation azotripique discontinue pour la séparation de mélanges non idéaux
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 08.01.02
Dirigée par JOULIA X.

ROUZINEAU D.
Simulation des techniques séparatives biphasiques multiconstituants réactives: modèle de transfert et validation expérimentale. Application à la distillation réactive
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 10.12.02
Dirigée par PREVOST M.

SARDEING R.
Hydrodynamique induite par un oxygénateur de surface: influence du design des agitateurs sur la qualité de la dispersion
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 13.12.02
Dirigée par XUEREB C.

SHAFIEI KHOSROSHAHI S.
Optimisation de réseaux d'échanges de masse par algorithmes génétiques: application aux procédés papetiers
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 15.11.02
Dirigée par DOMENECH S.

THERY R.
Analyse de faisabilité, synthèse et conception de procédés de distillation réactive
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 09.12.02
Dirigée par JOULIA X.

ZOUHOU A.
Analyse du dépôt electroless de cuivre
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 25.07.02
Dirigée par DUVERNEUIL P.

2002

AKBARI A.
Elaboration de fibres creuses de nanofiltration par photogreffage. Application au traitement d'effluents de l'industrie textile
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 24.07.03
Dirigée par APTEL P.

AYAX GARCIA CORTES D.
Contribution à l'étude de l'hydrodynamique et du transfert de masse en réacteurs de type cuve agitée par une approche globale et locale en systèmes gaz-liquide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 27.08.03
Dirigée par TAILLANDIER P.

BEQUET S.
Procédés de photogreffage en continu de membranes fibres creuses
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 13.10.03
Dirigée par APTEL P.

CHIKH DJAOUTI M.
Modélisation du dépôt electroless de cuivre
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 18.09.03
Dirigée par DUVERNEUIL P.

DUPUY F.
Modélisation des distributions des lignes de courant et du champ de concentration dans les réacteurs électrochimiques
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 19.12.03
Dirigée par DUVERNEUIL P.

ESPINASSE B.
Approche théorique et expérimentale de la filtration tengentielle de colloïdes: flux critique et colmatge
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 15.12.03
Dirigée par AIMAR P.

ESQUERRE-CACHA V.
Relation hydrodynamique-encrassement dans un réacteur agité multi-étage de traitement de la bauxite par le procédé Bayer
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 14.11.03
Dirigée par BERTRAND J.

GERBAUD V.
Apport de la modélisation moléculaire sur la conception intégrée produit procédé assistée par ordinateur
Habilitation à Diriger des Recherches, INP TOULOUSE (France), 17.12.03

HADDOU B.
Purification d'effluents par extraction à deux phases aqueuses
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 08.07.03
Dirigée par CANSELIER J-P.

HUERTA ORTEGA B.
Apport de méthodes électrochimiques dans l'étude de la cristallisation du bitartrate de potassium sur un support métallique
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 12.12.03
Dirigée par GABAS N.

KIRIAMITI K-H.
Extraction de pyréthrines par le C02 liquide et supercritique
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 19.09.03
Co-dirigée par GOURDON C. et CONDORET J-S.

LEWIS KIAMBI S.
Analyse métrologique de la sonde optique double: interaction sonde-bulle et application en gazosip
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 16.04.03
Dirigée par DELMAS H.

MARINO D.
Instabilité et fluidisation de milieux granulaires soumis à des vibrations verticales
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 14.11.03
Co-dirigée par DE RICK A. et DODDS J.

THESES ET HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

MEDAWAR W.
Etude physiologique etcinétique des levures du genre Brettanomyces dans un contexte œnologique
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 14.02.03
Dirigée par STREHAIANO P.

MONTASTRUC L.
Modélisation et optimisation d'un réacteur en lit fluidisé de déphosphatation d'effluents aqueux
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 02.10.03
Dirigée par AZZARO-PANTEL C.

PERRET J.
Intégration des réseaux de petri différentiels à objets dans une plate-forme de simulation dynamique hybride: application aux procédés industriels
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 06.11.03
Dirigée par LE LANN J-M.

POMMIER S.
Dynamique de populations microbiennes en culture mixte: étude expérimentale en bioréacteur à Imembranes et modélisation du phénomène killer chez Saccharomyces cerevisiae
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 25.06.03
Dirigée par STREHAIANO P.

SUPAKA N.
Dégradation par voie microbienne de colorants azoïques par un procédé anaérobie-aérobie
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 08.12.03
Dirigée par STREHAIANO P.

YAZBEK W.
Condensation de composés organiques volatils en lit fluidisé
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 29.09.03
Dirigée par DELEBARRE A.

2004

ALAVI TALEGHANI S.
Etude expérimentale de procédés de mise en fluidisation assistée de poudres microniques et traitements de densification/cristallisation
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 03.11.04
Dirigée par CAUSSAT B.

AMAT A.
Utilisation de la technique de détection des adduits à l'ADN comme biomarqueur de pollution en milieu marin
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 05.03.04
Dirigée par PFOHL-LESZKOWICZ A.

BLANC L.
Modélisation de la chambre d'hydrolyse des fours de défluoration de l'hexafluorure d'uranium
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 05.07.04
Dirigée par GUIRAUD P.

BOUCHOUX A.
Etude de la nanofiltration pour son intégration dans les procédés de production d'acides organiques
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 10.12.04
Dirigée par ROUX DE BALMANN H.

CASTAIGNEDE V.
Méthodes électrochimiques pour évaluer l'aptitude à la réduction des vins: application à la micro-oxygénation
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 01.10.04
Dirigée par COMTAT M.

CHAUMAT H.
Hydrodynamique locale et globale d'une colonne à bulles en conditions industrielles
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 30.09.04
Dirigée par DELMAS H.

DIAZ MONTANO D.M.
Etude physiologique et cinétique de deux souches de levures impliquées dans l'étape fermentaire de la production de tequila
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 07.12.04
Dirigée par STREHAIANO P.

DIETZ A.R.
Optimisation multicritère pour la conception d'ateliers discontinus multiproduits: aspects économique et environnemental
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 09.12.04
Dirigée par DOMENECH S.

DIVOL B.
La microbiologie des vins issus de raisins botrytisés au cours de l'élevage. Caractérisation des souches de Saccharomyces cerevisiae responsables de refermentations
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 15.12.04
Dirigée par STREHAIANO P.

DUMAS M.
Maîtrise du niveau d'inclusions lors de la cristallisation d'un produit organique
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 27.05.04
Dirigée par BISCANS B.

FAKHFAKH N.
Recherche des conditions opératoires optimales pour des procédés de synthèse en chimie fine
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 11.05.04
Dirigée par CABASSUD M.

FERREIRA DE LA SALLES W.
Sulfochloration par le chlorure de sulfuryle: un procédé alternatif pour la fabrication d'alcanesulfonates secondaires
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 03.09.04
Dirigée par CANSELIER J.P.

GUERRA D.
Modélisation du transfert d'un aérocontaminant dans un local ventilé en champ proche d'une source d'émisssion accidentelle
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 25.11.04
Dirigée par DOMENECH S.

HADJ-KALI M.K.
Application de la simulation moléculaire pour le calcul des équilibres liquide-vapeur des nitriles et la prédiction des azéotropes
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 08.12.04
Co-dirigée par JOULIA X. et GERBAUD V.

KUNDU A.
Réacteurs à 3 phases: A - Hydrodynamique et mouillage. B - Accélération de l'absorption en colonne à bulle gaz-liquide-liquide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 22.01.04
Dirigée par DELMAS H.

MEIRELES M.
Filtration membranaire: du fractionnement de macromolécules à la séparation de milieux divisés
Habilitation à Diriger des Recherches, UPS Toulouse (France), 04.02.04

MEYER X-M.
Modélisation et simulation de systèmes complexes. Application aux systèmes biologiques et à la distillation réactive
Habilitation à Diriger des Recherches, INP TOULOUSE (France), 16.12.04

MOLINIE A.
Evaluation de l'effet synergique de mycotoxines de stockage (ochratoxine A, citrinine, acide pénicillique)
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 21.07.04
Dirigée par PFOHL-LESZKOWICZ A.

PARDO A.
Conception de réacteurs électro-enzymatiques pour la mise en oeuvre de mono-oxygénases
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 09.06.04
Co-dirigée par BERGEL A. et BASSEGUY R.

RUBIO ATOCHE C. M.
Systèmes multi-étagés visqueux et aérés/contribution à la compréhension de l'influence de la géométrie du mobile de dispersion
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 19.07.04
Dirigée par BERTRAND J.

SAIDI K.
Etude des mécanismes de cadepot des alliages zinc-nickel
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 23.01.04
Dirigée par DUVERNEUIL P.

SERRA A.
Production d'hybrides S, cerevisiae x S. uvarum: contraintes physiologiques et procédé
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 21.04.04
Dirigée par TAILLANDIER P.

TEERATANANON M.
Analyse des distributions de courant dans les réacteurs électrochimiques et modélisation des dépôts d'aliage zinc-nickel
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 09.11.04
Dirigée par DUVERNEUIL P.

TEIXEIRA DA SILVA K.
Approche thermodynamique et cinétique de l'extraction à deux phases aqueuses à l'aide de tensioactifs non ioniques
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 09.09.04
Dirigée par CANSELIER J.P.

TEYCHENE S.
Maîtrise du polymorphisme dans les procédés de cristallisation de produits d'intérêts pharmaceutiques: application à la cristallisation de l'eflucimibe
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 15.12.04
Dirigée par BISCANS B.

WONGKITTIPONG R.
Mise au point d'un procédé d'extraction en colonne pulsée du principe actif à partir de feuilles d'andrographis paniculatanée
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 16.01.04
Dirigée par GOURDON C.

ZAPATA C.
Synthèse de matériaux composites par co-broyage en voie sèche. Caractérisation des propriétés physico-chimiques et d'usages des matériaux
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 21.12.04
Dirigée par LE BOLAY N.

ZITOUNI A.
Etude taxonomique et des propriétés antagonistes des Nocardiopsis et des Saccharothrix des sols sahariens et production antibiotiques par saccharothrix sp, SA 1
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 15.07.04
Dirigée par LEBRIHI A.

2005

AWAD G.
Caractérisation et étude de l'effet des sources de carbone et d'azote sur la production de nouveaux métabolites secondaires chez A. ochraceus non producteur de l'ochratoxine A.
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 07.01.05
Dirigée par LEBRIHI A.

BEJAOUI H.
Champignons ochratoxinogènes et ochratoxine A (OTA) dans des vignobles français et procédés biologiques de décontamination de l'OTA dans les moûts de raisin
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 18.07.05
Dirigée par LEBRIHI A.

BENMACHOU K.
Etude et Modélisation du Colmatage d'un filtre plissé
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 11.03.05
Co-dirigée par MEIRELES M. et SCHMITZ P.

BRUNET L.
Conception et analyse d'un nouveau type de colonne pulsée appliquée au contact solide/liquide
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 13.07.05
Co-dirigée par CASAMATTA G. et PRAT L.

CASSAYRE L.
Mécanismes de dégradation électrochimique de matériaux d'anodes pour l'électrolyse de l'aluminium
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 01.04.05
Dirigée par TAXIL P.

COCHETEAU V.
Synthèse de plots quantiques de silicium par LPCVD pour les nouvelles générations de mémoires non volatiles
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 12.05.05
Dirigée par CAUSSAT B.

DAMES M.
Gestion de procédés discontinus: méthodologie de modélisation et d'optimisation d'opérations de dispersion liquide-liquide en cuve agitée
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 21.07.05
Dirigée par XUEREB C.

DESPORTES S.
Imprégnation en voie sèche en lit fluidisé: application à la synthèse de catalyseurs supportés
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 28.01.05
Dirigée par HEMATI M.

GALINAT S.
Etude expérimentale de la rupture de gouttes dans un écoulement turbulent (Experimental study of drop breakup in a turbulent flow.)
Thèse de doctorat INP Toulouse (France), 06.04.05
Dirigée par MASBERNAT O.

GRENIER A.
Méthodes pour l'identification et la caractérisation de mécanismes de colmatage en filtration frontale
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 08.06.05
Co-dirigée par MEIRLES M. et AIMAR P.

HAMEL C.
Séparation Actinides-Lanthanides (Néodyme) par extraction électrolytique en milieux fluorures fondus
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 18.02.05
Dirigée par TAXIL P.

LADEVEZE F.
Microréacteurs pour la synthèse chimique: rôle de l'hydrodynamique et effets de la miniaturisation
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 27.10.05
Dirigée par XUEREB C.

MADELINE J-B.
Filtration de dispersions agrégées de silice colloïdale: structure, consolidation et perméabilité de dépôts
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 06.07.05
Dirigée par MEIRELES M.

PHONG D-H.
Caractérisation de certains gènes polycétones synthases chez A. ochraceus NRRL 3174 producteur d'ochratoxine A et d'acide pénicillique
Thèse Doctorat, INP Toulouse (France), 01.07.05
Dirigée par LEBRIHI A.

ROUAIX S.
Caractérisation et étude du vieillissement d'une membrane d'ultrafiltration
Thèse Doctorat, UPS Toulouse (France), 26.01.05
Dirigée par CAUSSERAND C.

le LABORATOIRE DE GÉNIE CHIMIQUE
UMR 5503
TOULOUSE

AUTOUR DE LA SCIENCE

RELATED TO SCIENCE

Structure fédérative FERMaT

FERMaT
NANONEMPRO
BIOFILMS
PROJET INTEGRE "IMPULSE"

Bref historique

La structure FERMaT (Fédération pour l'Etude des Réacteurs et la Maîtrise des Transferts) est née en 1998 d'une incitation par le département SPI du CNRS de développer des liens entre laboratoires autour des sciences des procédés. Ceci donna lieu à deux plateformes, FERMaT et ProTEE du Contrat de Plan Etat Région 2000-2006, qui ont fusionné en 2002 en conservant le nom FERMaT, et regroupé les quatre laboratoires fondateurs : l'IMFT (UMR5504), le LBB (UMS5502), le LIPE (INSAT) et le LGC (UMR5503).

Ce projet est structuré autour de 12 Actions de Recherche et a pour but de mutualiser des moyens humains et expérimentaux, de maintenir une animation scientifique entre les laboratoires partenaires, et d'agir en incubateur de projets dans le secteur de l'étude des réacteurs et de la maîtrise des transferts. Il est dirigé par un Directeur et un Directeur Adjoint aidés d'un Comite de Pilotage, dans lequel siègent les Directeurs des quatre laboratoires et les responsables d'actions de recherches.

Thèmes abordés

Les approches se développent à toutes les échelles, l'approche microscopique pluridisciplinaire (expérimentale et numérique) dans des procédés complexes (milieux diphasiques denses, milieux poreux, milieux biologiques, interfaces) étant particulièrement développée à Toulouse. On trouve également dans FERMaT une forte proportion de recherches menées à des fins de traitement d'effluents liquides ou de traitement d'eau.

On retrouvera donc plusieurs références à cette structure fédérative dans le cours du rapport d'activité du Laboratoire de Génie Chimique, et on y verra ainsi illustrées quelques unes des actions les plus significatives de Fermat.

Quelques faits marquants

Au printemps 2005, l'ensemble des équipements scientifiques achetés en commun s'élève à 6 instruments analytiques et 3 stations de travail (Tableau 1). Des projets portant sur l'acquisition d'un microscope confocal dédié à l'activité biofilms, et sur l'achat par FERMaT de 20 processeurs à ajouter aux 60 du Calculateur Parallèle Régional CALMIP, sont en bonne voie de conclusion.

Au-delà des équipements scientifiques, la Structure FERMaT a assuré une animation scientifique sous forme de 7 Journées Thématiques qui ont accueilli au total 550 participants, dont 30 % de doctorants sur des thèmes méthodologiques ou pratiques relatifs aux actions de recherche de FERMaT (tableau 2). En plus de ces JT, des ateliers portant sur les milieux fibreux et le transfert autour d'inclusions ont été organisés sous l'égide de FERMaT, permettant d'évaluer l'opportunité de développer ces activités dans FERMaT.

FERMaT : A Collaborative Network

Introduction

The FERMaT Federation (Federation of Researchers in Momentum and Mass Transfer) was initially created in 1998, further to an invitation by the Department of Engineering Sciences (CNRS) made to 4 Laboratories located in Toulouse to develop mutual links around Process Engineering (Institut de Mécanique des Fluides, Laboratoire de Biotechnologie et Bioingéniérie, Laboratoire d'Ingéniérie des Procédés pour l'Environnement, Laboratoire de Génie Chimique). This gave birth to 2 structures (FERMaT and ProTEE), which merged later on, into a single one: FERMaT. The Federation is managed by a Director and a Steering Committee, involving the head of laboratories and the coordinators of the 12 research projects on which the federation has been built.

Topics

The federation supports collaborative research projects between at least 2 teams from two of the 4 funding laboratories. These projects cover multiphase flow, with and without mass transfer, at local or global scale, flow through porous media and their characterisation, biological media and interface phenomena such as membrane processes. A significant part of these researches are aimed at environmental and water reclamation applications.

Therefore, several references to Fermat can be found in various sections of the present report.

Some important facts

We currently run 6 equipments (see table 1) and 3 work stations on a collaborative basis. In the forthcoming months (July 2005) we plan to buy a confocal bi-photonic microscope, and 20 processors to be added on top of the already existing 62 in the regional parallel computing facility called CALMIP.

Besides the acquisition of scientific equipment, FERMaT organises seminars (free access – see table 2) on some of our strong topics and workshops (e.g. on mass transfer and liquid gas flow, or transfer and characterisation of fibrous media) so as to evaluate the interest of developing new topics within the federation.

FERMaT has also acted as a framework to defend the application of Pr. Mark Wiesner (Rice University – Houston Texas USA) as an invited Professor, and a 345000€ project on Environmental Technologies, both funded by the Regional Authority : "Conseil Regional de Midi Pyrenees".

FERMaT a également soutenu la candidature de Mark Wiesner, Professeur à Rice University (Houston, USA), aux chaires d'excellence du Conseil Régional Midi Pyrénées (CRMP) " Pierre de FERMaT " et le projet " Sciences des procédés appliqués à l'environnement ", d'un montant de 345000€ financé par le CRMP.

De nombreux DEA/Master et doctorants ont été mis à disposition par les laboratoires pour travailler sur des thématiques FERMaT. En 2004, le Comité de Pilotage de FERMaT a décidé de solliciter des allocations de doctorat sur des sujets propres. Le CNRS, à travers le portage de projets du Fond de Solidarité Européenne, a permis de financer 2 allocations en 2004, et l'effort conjoint INP/INSA a permis d'obtenir une allocation MRT en 2005.

Perspectives

Le comité de pilotage de la structure fédérative FERMaT a décidé de poursuivre l'effort de coopération entrepris et de capitaliser sur l'investissement que font les jeunes chercheurs qui, peu à peu, acquièrent et s'approprient une culture de travail coopératif. Des rapprochements avec d'autres structures de l'ingénierie à Toulouse et des associations avec des équipes issues d'autres sites universitaires, et spécialistes de l'étude des réacteurs et de la maîtrise des transferts, sont aujourd'hui à l'étude.

Equipement	Localisation
3 stations de travail	(IMFT/LBB/LGC)
rhéomètre à contrainte imposée	(IMFT)
compteur de particules	(LIPE)
microscope in-situ	(LBB)
camera rapide (2000 I/s)	(IMFT)
spectromètre AA	(LGC)
granulomètre milieux denses	(LGC)

Tableau 1

Année	Thèmes	Responsable organisation	Assistance
2000	Procédés diphasiques de l'approche locale à l'échelle industrielle	O.Simonin/P. Guiraud	(70 p.)
2001	Procédés de séparation: approches locales pour l'amélioration des performances	**M.Meireles**/P. Schmitz	(75 p.)
2002	Fluidisation	O.Simonin	(55 p.)
2003	Biofilms	**M.L Delia**	(100 p.)
2004	Bilan de population	P. Guiraud	(72 p.)
2004	Instrumentation	S. Cazin	(85 p.)
2005	Simulation dans les écoulements diphasiques	**E. Climent**	(110 p.)

Tableau 2

Many students are working on these Fermat projects (c.a. 10 per annum). Most are supported by grants or contracts directly provided by the funding laboratories. However, in 2004, two EC PhD grants were obtained by Fermat and in 2005, one PhD fellowship paid by the French Ministry of research has been awarded to a Fermat project.

Perspectives

The Steering Committee has decided to further develop the type of activity already well establish in Fermat, and to search for some additional collaborations: some will be established in Toulouse and the area towards groups working on energetics and heat transfer, and other in other places (Marseille, Montpellier, Bordeaux) were we find some promising support with people working of multiphase flow or other strong projects in the Federation.

Equipment	*Localisation*
3 Workstations	*(IMFT/LBB/LGC)*
Shear controlled rheometer	*(IMFT)*
Particle counter	*(LIPE)*
in-situ microscope	*(LBB)*
High Speed Camera (2000 frames/s)	*(IMFT)*
Atomic Adsorption Spectrophotometer	*(LGC)*
Granulometer for dense media	*(LGC)*

Table 1

Année	*Topics of Seminars*	*Organiser*	*Attendance*
2000	*Multiphase processes:approaches from local to industrial scale*	*O. Simonin / P. Guiraud*	*(70 p.)*
2001	*Separation processes : local apporaches for performance enhancement*	*M. Meireles / P. Schmitz*	*(75 p.)*
2002	*Fluidisation*	*O. Simonin*	*(55 p.)*
2003	*Biofilms*	*M.L. Delia*	*(100 p.)*
2004	*Population balance, as a methodology for engineers*	*P. Guiraud*	*(72 p.)*
2004	*Instrumentation*	*S. Cazin*	*(85 p.)*
2005	*Simulation methods for Multiphase flow*	*E. Climent*	(110 p.)

Table 2 : bold letters : members of Laboratoire de Génie Chimique

Structure fédérative FERMaT

FERMaT : A Collaborative Network

Etudiant lié au LGC	Financement	Directeur de thèse	Date de soutenance
Micheline Abbas	FSE*	**E. Climent** / O. Simonin	En cours
Kader Benmachou	Cifre Sofrance	**M. Meireles** / P. Schmitz	2005
Claude Daniel	MESR	**P. Guiraud** -D. Legendre	2002
Frédéric Gevrin	MESR	**O. Masbernat** -O. Simonin	2002
Sophie Galinat	Cifre IFP	**O. Masbernat** -P. Guiraud-P. Risso	2005
Geoffrey Petit	Cifre IFP	**M. Hémati** -O. Simonin	En cours
Christophe Conan	Cifre IFP	**O. Masbernat** -A . Liné	En cours
Matthieu Roudet	MESR*	**A.M. Billet / V. Roig / P. Guiraud**	En cours
Matthieu Adoue	FSE*	**P. Schmitz / S. Lorthois**	En cours

Tableau 3: *: bourse FERMaT

PhD Student linked to LGC	*Funding*	*Supervisor*	*Date of defense*
Micheline Abbas	*FSE**	*E. Climent/ O. Simonin*	*In Progress*
Kader Benmachou	*Cifre Sofrance*	*M. Meireles / P. Schmitz*	*2005*
Claude Daniel	*MESR*	*P. Guiraud -D. Legendre*	*2002*
Frédéric Gevrin	*MESR*	*O. Masbernat -O. Simonin*	*2002*
Sophie Galinat	*Cifre IFP*	*O. Masbernat- P. Guiraud P. Risso*	*2005*
Geoffrey Petit	*Cifre IFP*	*M. Hémati -O. Simonin*	*In Progress*
Christophe Conan	*Cifre IFP*	*O. Masbernat -A . Liné*	*In Progress*
Matthieu Roudet	*MESR**	*A.M. Billet / V. Roig P. Guiraud*	*En cours*

*Table 3 : * FERMaT PhD grant*

NANOMEMPRO
Réseau d'excellence du 6ème PCRD

Le réseau Nanomempro (Nanostructured materials for advanced Membrane Processes), créé en Septembre 2004, a pour objectif de réunir des laboratoires de référence en Europe, sur le thème de la conception, la mise au point et la production de matériaux nanostructurés, en vue de leur utilisation en tant que membranes dans des procédés de séparation. Il a été constitué autour de 13 Institutions de 13 pays différents de la communauté Européenne. Il est coordonné par le CNRS, qui est le partenaire Français, et le responsable en est Gilbert Rios, Professeur à l'Université Montpellier II. Le laboratoire de Génie Chimique participe à ce réseau à travers 7 chercheurs (sur un total de 120), en apportant ses compétences en procédés d'élaboration et caractérisations de membranes et de leurs applications.

L'objectif est conforme à la définition qui en a été donnée dans l'appel d'offre de la CE, à savoir une intégration des recherches nationales à l'échelon Européen. Les moyens importants qui sont alloués (4,6 M€) sont donc destinés à coordonner les recherches réalisées dans les différents centres associés. Un groupe de travail constitué d'industriels concernés par les procédés à membranes, puis un groupe d'experts non encore associés au réseau, seront constitués.

En accompagnement de cette perspective un post-doc CNRS (J. Escudero) a été recruté à l'automne 2004, puis un Maître de Conférences (Poste " Fillon ", J. F. Lahitte) au printemps 2005. A l'avenir, ce réseau va contribuer au développement des activités " membranes " du laboratoire, apparaissant dans les départements GIMD et RMS en direction de :

- l'élaboration des membranes, en particulier par le biais de méthodes basées sur la structuration de polymères à l'échelle locale (micro émulsions, impression moléculaire), qui pourraient permettre de découvrir des procédés de fabrication économes en solvants
- leur caractérisation,
- l'ingénierie de la filtration: c'est un thème qui regroupe la filtration d'agrégats, les réacteurs à membranes et l'analyse des structures poreuses (consolidées ou non). La simulation y joue un rôle important. La complexité est liée aux limites de nos connaissances des milieux diphasiques très concentrés. La description de la dynamique de changement de phase dans les procédés et processus est un des sujets e, développement.
- la physico chimie des solutions multicomposants: Elle concerne le transport en milieux monophasiques non idéaux, dont la complexité provient de la multiplicité et de la concentration élevée des espèces présentes .
- Parmi les applications, nous voudrions plus particulièrement insister sur les secteurs de l'industrie de l'eau, du traitement des effluents liquides, de l'alimentaire, la pharmacie et la chimie.

A Network of Excellence of the 6th FPRD

The Network "Nanomempro" (Nanostructured Material for Advanced Membrane Processes), created in September 2004, aims at linking reference laboratories across Europe on the topic of design, development and production of material structured at the nanoscale, in view of their use as membranes in separation processes. It is based on 13 research institutions from 13 different European Countries. Its coordinator is CNRS (the French partner) and its head is Prof. Gilbert Rios, from Montpellier University. The "Laboratoire de Génie Chimique" participate to this network via 7 researchers (amongst c.a.120 in Nanomempro), who work in membrane casting, characterisation and their applications.

The aim of the NoE, is consistent with the definition given in the call for proposal by the European Commission, i.e. an integration of national research programmes at the European level. The rather wealthy budget (4.6 M€) is therefore available to coordinate research and facilities available in the partners' laboratories. A specific working party gathers about 40 industrialists which have shown interest in the researches carried out amongst the NoE.

In the perspective of the development of this Network, a Post Doc has been appointed by CNRS (J. Escudero) and fall 2004, and a lecturer has been appointed by Paul Sabatier University (J.F. Lahitte) at Spring 2005. In the forthcoming years, this network will certainly help to the development of the "membranes" research activities in our laboratory, which appear in "RMS" and "GIMD":

- *Membrane preparation (micro emulsions, molecular imprinting, etc...)*
- *Membrane characterisation*
- *Filtration engineering: colloidal filtration membrane reactors and transport through porous media, for which simulation is a key issue.*
- *Physical chemistry of multicomponent solutions: transport of solutes in non ideal concentrated solutions and through polymeric films.*
- *Applications towards: water and water treatment, Food pharmaceutical and chemical industries.*

BIOFILMS
Pourquoi un laboratoire de génie chimique s'implique dans l'étude des biofilms ?

Biofilms

Les biofilms sont le résultat du développement de micro-organismes sur toutes les surfaces exposées à des environnements humides non stériles : surfaces physiologiques (tractus intestinal, cavités buccale et génitale...) végétaux (racines, feuilles...) sols, roches, surfaces des océans, bâtiments, matériaux industriels métalliques ou non (textiles, ciments, polymères...)... Les micro-organismes se fixent sur les surfaces, synthétisent des exo-polymères, formant ainsi des films de quelques micromètres à quelques millimètres d'épaisseur qui modifient considérablement les conditions chimiques et physico-chimiques locales : composition, pH, aérobie/anaérobie, hydrodynamique... Au sein des biofilms les micro-organismes modifient leurs mécanismes génétiques et créent des conditions qui favorisent leur développement et accroissent leur résistance aux conditions environnementales. La dynamique des biofilms est régie par de nombreux processus en interaction : transferts de matière et de chaleur engendrés par les fortes hétérogénéités spatiales, réactions chimiques et biologiques couplées, mécanismes génétiques, formes de communication chimique entre les consortia adhérés...

Relever un défi scientifique : intégrer la complexité, construire un nouveau champ interdisciplinaire

Déchiffrer les mécanismes de formation et d'évolution des biofilms exige d'intégrer des compétences complémentaires extrêmement variées : biologie, microbiologie, chimie des solutions, physico-chimie des surfaces, géologie, hydrologie, sciences des matériaux, hydrodynamique, ingénierie... Les méthodes de la microbiologie traditionnelle qui passent par le prélèvement d'échantillons et leur culture en batch entraînent la destruction de l'essence même des biofilms. C'est donc un nouvel arsenal expérimental et conceptuel qu'il faut développer pour cerner les processus bio-réactifs à l'échelle micrométrique, au sein même des flux locaux de matière, d'énergie et d'information qui les régissent. Il semble naturel que le génie des procédés, caractérisé comme " discipline des interactions et interaction de disciplines " apporte une contribution majeure à la construction d'un nouveau champ interdisciplinaire, la biologie des surfaces.

Action LGC : le LGC a porté le projet de création du pôle de recherche national à implantation régionale PNIR-Biofilms concrétisé en janvier 2005 par la signature de la convention de création qui associe 16 universités, le CNRS, le CEA et l'Institut Pasteur, tutelles des 21 laboratoires impliqués. Le PNIR a pour objectif de structurer la thématique au niveau national en fédérant le potentiel humain, mutualisant les compétences et les équipements et en capitalisant les connaissances et les savoir-faire sur le long terme. Le pôle est doté d'un comité d'administration présidé par l'UHP (Nancy), d'un comité de direction constitué des 21 directeurs de laboratoire et d'un comité scientifique qui contribue à la prospective scientifique et au positionnement international du PNIR. Son programme scientifique s'articule en trois axes : biofilms et matériaux, biofilms et environnement, capteurs et procédés.

BIOFILMS
Why does a laboratory of chemical engineering study biofilms?

Biofilms

Biofilms are the result of the development of micro-organisms on all kinds of surfaces exposed to non sterile wet environments: physiological surfaces (intestinal tract, oral and genital cavities...), plants (roots, sheets...) soils, stones, surfaces of oceans, buildings, industrial materials (metals, textiles, concretes, polymers...)... Micro-organisms adhere on the surfaces, synthesize exo-polymers, and form films of some micrometers to a few millimetres thickness, which modify considerably the local chemical and physicochemical conditions: composition, pH, aerobic/anaerobic, hydrodynamics... Within the biofilms the micro-organisms modify their genetic mechanisms and create conditions which support their development and increase their resistance to the environmental conditions. The dynamics of biofilms is governed by many processes in strong interaction: mass and heat transfers generated by steep space heterogeneities, coupled chemical and biochemical reactions, genetic mechanisms, forms of chemical communication between the adhered consortia...

A scientific challenge: to integrate complexity, to build a new interdisciplinary area

To decipher the mechanisms of biofilm formation and biofilm dynamic requires integrating complementary skills from extremely varied scientific areas: biology, microbiology, chemistry of solutions, physical chemistry of surfaces, geology, hydrology, material sciences, hydrodynamics, engineering... The methods of the traditional microbiology, which are based on sampling and batch cultures, result in the destruction of the basic structure of biofilms. A new arsenal of techniques and concepts is now required to investigate the bio-processes at a micrometric scale, embedded in the local mass, energy and information flows that govern them. It seems natural that chemical engineering, characterized as "discipline of interactions and interaction of disciplines" [1] gives a main contribution to the construction of this new interdisciplinary scientific area: biology of surfaces.

***LGC action:** The LGC led the creation of the "pole de recherche national à implication régionale" PNIR-Biofilms (national pole of research with regional settlement) concretized in January 2005 by the signature of the consortium agreement that associates 16 universities, CNRS, CEA and the Institute Pasteur, the host organisations of the 21 laboratories involved. The PNIR aims to structure the thematic area at the national level by federating the human resources,*

Répondre aux attentes de la société et des industries

Les biofilms sont à l'origine de multiples cas de contaminations dans les industries agroalimentaires, les réseaux de distribution d'eau potable ou les hôpitaux. En milieu hospitalier, la colonisation de la surface des implants, des cathéters ou des salles d'intervention est à l'origine d'environ 60% des infections nosocomiales qui induisent pour la France quelques milliers de décès par an. Les biofilms formés sur les parois des réseaux d'eau chaude et de conditionnement d'air sont le lieu privilégié d'accumulation d'espèces pathogènes telles que Legionella et amibes qui, relâchées dans l'environnement, engendrent de graves problèmes de santé publique devant lesquels plus de cent années d'études de microbiologie traditionnelle laissent la société cruellement démunie. Les coûts de la corrosion dans son ensemble sont évalués à environ 4% du PNB des pays industrialisés et la corrosion induite par les biofilms, ou biocorrosion, est jugée responsable de 10 à 20% des cas de corrosion. Les structures exposées au milieu marin, installations portuaires, navires, plates-formes, les échangeurs de chaleur utilisant des eaux naturelles, mais aussi tous les dispositifs enfouis dans les sols, conduites, pipelines, réservoirs de stockage de gaz, déchets nucléaires, sont parmi les équipements les plus concernés par la biocorrosion. Le manque de connaissances fondamentales conduit à mettre en œuvre des méthodes peu appropriées, coûteuses et aux effets secondaires détestables, telles que l'emploi massif de biocides chlorés ou de revêtements anti-fouling à l'étain.

Action LGC : Le LGC s'est focalisé sur l'effet des biofilms sur les phénomènes de corrosion des matériaux métalliques. Pour s'assurer les collaborations nécessaires et atteindre une visibilité internationale, le LGC a créé le groupement de recherche Européen plus " Surface of materials in living environment, SMILE " destiné à fédérer le potentiel Européen sur l'analyse des mécanismes de biocorrosion et l'utilisation des connaissances fondamentales pour la maîtrise du processus. Ce GdRE+ est à l'origine de la soumission du projet de réseau Européen Marie Curie " BIOCOR ", coordonné par R.Basséguy, tourné vers les applications dans l'industrie du pétrole et du gaz et l'entreposage des déchets nucléaires.

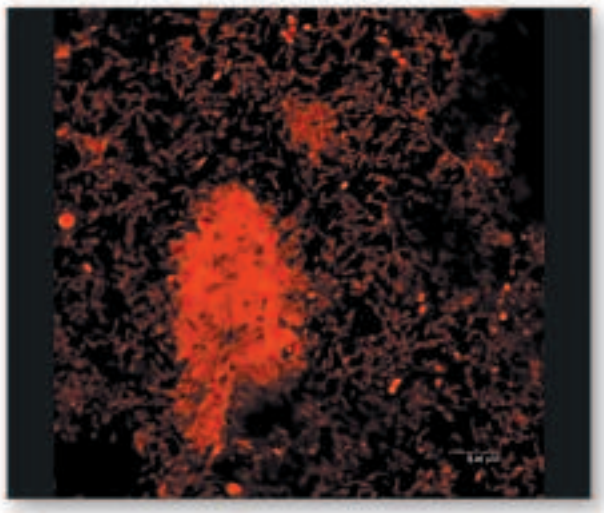


Image d'un biofilm bactérien développé sur une électrode à base de titane LGC-IFR 40 (microscope confocal-marquage acridine orange).

Bacterial biofilm on a titanium-based electrode LGC-IFR 40 (confocal laser microscope with acridine staining).

Créer de nouveaux procédés biotechnologiques

Comprendre la dynamique des biofilms peut constituer une source considérable de nouveaux procédés biotechnologiques. C'est une forme de biodiversité, ici en termes de procédés, qu'il reste à découvrir dans les biofilms. En 2002 par exemple, des chercheurs de l'Université du Massachusetts identifiaient la capacité de certains micro-organismes à connecter directement leur métabolisme avec des électrodes, créant ainsi une bifurcation cruciale dans les recherches sur les biopiles à combustibles. Depuis, les études sur le sujet se multiplient de

competences and facilities, and by capitalizing knowledge and know-how on the long term. The pole is structured with a steering committee chaired by the University Henri Poincaré (Nancy), a management committee made up of the 21 heads of laboratory, and with a scientific committee, which contributes to scientific forecast and international positioning of the PNIR. The scientific program is organized into three axes: biofilms and materials, biofilms and environment, sensors and processes.

To answer societal and industrial needs

Biofilms are at the origin of multiple contamination cases in food industries, drinking water distribution networks, or hospitals for instance. The colonization of the surface of chirurgical implants, of catheters or hospital rooms is the cause of approximately 60% of the hospital-acquired infections, which induce in France a few thousands of death per year. Biofilms formed on the surface of warm water supply and air conditioning installations constitute a privileged place for the accumulation of pathogenic species such as Legionella and amoebas which generate severe problems of public health, in front of which more than one century of research in traditional microbiology has left the society without any solution. The global costs of corrosion are estimated at approximately 4% of the GNP of the industrialized countries and the corrosion induced by biofilms, also called biocorrosion, is considered to be responsible for 10 to 20% of the cases of corrosion. Equipments exposed in marine environments, harbour installations, ships, platforms, heat exchangers using natural waters, all the devices buried in soils such as pipelines, gas storage tanks, nuclear wastes, are among the most concerned by biocorrosion. The lack of basic knowledge results in implementing mitigation techniques which are not fully suitable, expensive and with possible dramatic side effects, such as using huge amounts of chlorinated biocides or tin-based anti-fouling coatings.

BIOFILMS
Pourquoi un laboratoire de génie chimique s'implique dans l'étude des biofilms ?

façon exponentielle et les performances croissent à la même vitesse. Le LGC menait en parallèle des recherches sur des biocathodes qui restent l'un des verrous majeurs dans le développement de biopiles, verrou pour lequel les autres équipes ne proposent aucune avancée concrète.

Action LGC : Fort des résultats préliminaires obtenus en collaboration avec le CEA-Saclay et le CNR-ISMAR (Gênes), le LGC a rassemblé dès 2003 une équipe européen sur le sujet en créant le Strep Electro-active biofilms, cité comme l'un des 10 premiers projets les plus visionnaires soutenus par la communauté européenne (budget CE 1,94M€). L'objectif est d'isoler de nouveaux micro-organismes électroactifs, déchiffrer les mécanismes fondamentaux et évaluer le potentiel d'application en termes de biopiles à combustible, procédés de synthèse, protection des matériaux, biocapteurs, voire dans le domaine médical. Accepté fin 2005, le projet ANR " Bactériopile ", coordonné par M.L.Délia, prolonge EA-Biofilms par une recherche fondamentale en ingénierie qui assurera l'exploitation la plus rapide possible des avancées dans la compréhension des mécanismes.

[1] P. Bacchin et col., Entropie 216 (1999) 61-66.

[2] Industries et technologies 856, mars 2004.

BIOFILMS
Why does a laboratory of chemical engineering study biofilms?

LGC action: *The LGC has focused its research activities on the biocorrosion of metallic materials. In order to organise structured collaborations and to reach international visibility on this topic, the LGC created the European research group (ERG) "Surface of materials in living environments (SMILE)" intended to federate the European experts on biocorrosion. The scientific purposes focus the analysis of the basic mechanisms and the design of knowledge-based techniques for biocorrosion control and mitigation. This ERG just submitted to the EC the RTN Marie Curie network project BIOCOR, coordinated by R.Basséguy, which is devoted to biocorrosion in the area of gas and oil industry and storage of nuclear wastes.*

To design new biotechnological processes

Understanding the dynamics of biofilms can constitute an unexpected source of new biotechnological processes. Actually, biofilms afford a form of biodiversity, here in terms of processes, which remains to be discovered. In 2002 for example, researchers of the University of Massachusetts identified the capacity of some micro-organisms to connect their metabolism directly with electrodes. This discovery represents a major breakthrough in the area of biofuel cells that led to an exponential increase of the number of studies on the topic, and a similar exponential increase in the efficiency of the biofuel cells. During the same period, the LGC carried out in parallel research activities on bio-cathodes. Designing efficient bio-cathodes remains one of the major problems in the development of biofuel cells, for which the other teams have not propose any actual solution yet.

LGC action: *Thanks to the promising preliminary results obtained in collaboration with the CEA-Saclay and the CNR-ISMAR (Genoa), the LGC has gathered 6 European teams and created the STREP Electro-Active Biofilms, which has been quoted as one of the first 10 most visionary European projects[2] (EC budget 1.94M€). The objectives are to isolate new electroactive micro-organisms, to decipher the basic mechanisms and to evaluate the potential applications in terms of biofuel cells, bio-synthesis, corrosion preventing, biosensors, and even in the medical field. Accepted at the end of 2005, the project ANR "Bactériopile", coordinated by M.L.Délia, will extend the EA-Biofilms project through basic research in engineering in order to ensure the fastest possible application of the advances in mechanism understanding.*

PROJET INTEGRE "IMPULSE"

INPULSE INTEGRATED PROJECT

Le " projet intégré " IMPULSE, subventionné par le 6ème Programme cadre de recherche et développement technologique (6ème PCRDT) de l'Union Européenne, a démarré le 1er février 2005. Le projet IMPULSE repose sur deux principes : l'intensification – faire plus avec moins de transport, moins de solvants, moins de stock – et la miniaturisation – faire mieux en plus petit, plus compact, plus précis. Pour y parvenir, IMPULSE propose d'équiper les systèmes de production chimique en composants microstructurés issus de la microtechnologie. Cette orientation devrait permettre d'optimiser en exploitation industrielle des procédés jusque-là réservés aux analyses et aux expériences menées en laboratoire. La méthodologie multi-échelle implique une intensification locale dans les parties du procédé où il y a réellement intérêt, à une échelle présentant vraiment des avantages.
Avec un budget consolidé de 17 millions d'euros sur 4 ans, dont une subvention européenne de 10,5 millions d'euros, le consortium IMPULSE associe 20 partenaires de 7 pays européens. Le CNRS (coordinateur du projet) et des nombreux centres de recherche et d'enseignement supérieur européens collaborent avec des partenaires industriels prestigieux : GlaxoSmithKline (2ème pharmacien mondial), Degussa (3ème chimiste allemand), Procter et Gamble (1er lessivier mondial) et Siemens (1er mondial dans le secteur des systèmes de commande automatique).
Sur un plan scientifique, IMPULSE concentre ses efforts sur la pharmacie, la chimie fine et les produits de grande consommation. Ses études porteront sur la microstructuration des installations, les phénomènes d'écoulement, de mélange, de transfert et de réaction, ainsi que sur l'impact technico–économique des procédés. En particulier, le LGC focalise sur la réaction chimique et les procédés d'émulsion avec des applications dans la fabrication des lessives et des détergents, aussi bien que le développement des méthodologies génériques pour le design des procédés multi-échelle. Deux thèses supportées par ce programme ont démarré à la rentrée 2005 au Laboratoire de Génie Chimique.

IMPULSE is an "integrated project", which started on the 1st of February 2005, financed in part by Europe's 6th Framework Programme for Research and Technological Development (FP 6). IMPULSE combines two essential concepts: intensification – producing more with less energy, less solvent, reduced transport, lower inventories; and miniaturization – producing better with smaller volumes, higher efficiency, and greater precision. To achieve its goals, IMPULSE has chosen to equip chemical production plants with microstructured components and devices integrated directly into the process systems themselves. This decisively new orientation will allow industrial operations to be optimized on the production scale with the precision and accuracy that has only been previously available in chemical analysis and laboratory applications. This multi-scale design methodology of IMPULSE provides local intensification in only particular parts of a process, and at time and length scales where it is truly needed and most beneficial.
With a consolidated budget of € 17 million (€ 10.5 million financed by FP 6) over 4 years, the IMPULSE consortium is composed of 20 partners from 7 European countries. In addition to the CNRS (project coordinator) and a large number of leading European research centres and universities in chemical engineering, microtechnology and process innovation, four major industrial leaders are involved: GlaxoSmithKline, the world's 2nd largest pharmaceuticals producer, Degussa, the world's largest specialty chemicals manufacturer, Procter & Gamble, the world's leading consumer products supplier and Siemens, world–wide leader in automatic control equipment.
Scientifically, IMPULSE concentrates its efforts on application areas in three major high-added-value industrial sectors: pharmaceuticals, specialty chemicals and consumer products. R & D studies investigate the integration of microstructured process components for the enhanced control of flow phenomena, mixing, reaction and heat and mass transfer, as well as the techno-economic impact of these innovations, including such important aspects as safety and eco–efficiency. In particular, the LGC is involved in consumer product applications where the focus will be oriented toward reaction and emulsion phenomena, as well as in the development of generic multi-scale process design methodologies. Two PhD theses supported by this programme, started in September 2005 at the LGC.

CRITT
GENIE DES PROCEDESTECHNOLOGIES ENVIRONNEMENTALES

Le Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologie (CRITT), est adossé à deux laboratoires de recherche en génie des procédés de la région Midi-Pyrénées :

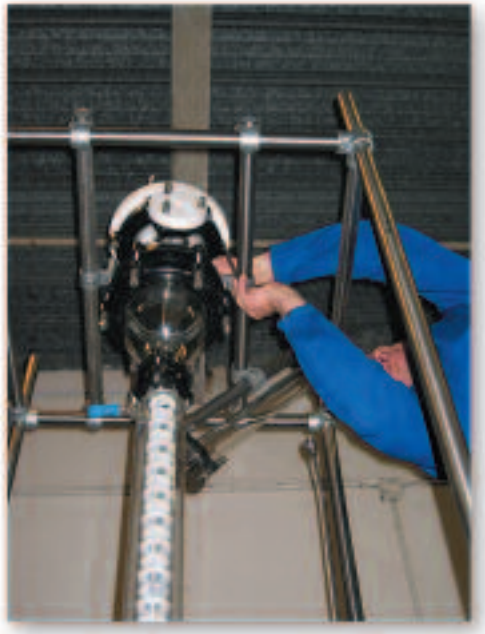
- le Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Environnement (LIPE : département GPI, INSA Toulouse),
- le Laboratoire de Génie Chimique de Toulouse (LGC : UMR 5503 CNRS/UPS/INPT).

L'activité du CRITT est centrée sur la réalisation de prestations et d'études de développement industriel pour le compte de PME, de grands groupes ou de collectivités locales. Depuis 1999, le CRITT est un véritable centre de transfert, du type opérateur technique avec du personnel et des installations techniques en propre. Le CRITT a été créé avec la volonté de favoriser et d'encourager l'interaction permanente avec la recherche. Pour ce faire, le CRITT dispose de deux sites techniques au sein même des deux laboratoires d'adossement. Dans le cadre des contrats du CRITT, les équipes de recherche des laboratoires peuvent intervenir à travers de simples conseils ou bien par une implication plus forte qui se traduit naturellement par l'ouverture de lignes budgétaires pour les équipes de recherche.

Début 2005, le personnel du CRITT se compose de 8 personnes en propre, avec un temps équivalent temps plein de 6 personnes (dont 3 ingénieurs). Pour certains contrats, les laboratoires d'adossement peuvent détacher du personnel technique.
Le CRITT exerce son activité dans de nombreux secteurs industriels : chimie, chimie fine, santé, pharmacie, matériaux, environnement. Des contrats plus spécifiques mais récurrents depuis 4 ans ont également permis au CRITT de travailler dans le secteur spatial. En fait, la diversité des entreprises clientes est une illustration de la transversalité de cette science de la réalisation industrielle qu'est le génie des procédés.

Les types de services offerts par le CRITT varient selon la demande et la taille de l'entreprise cliente :

- recherche et synthèse bibliographique,
- expertise technique sur des procédés ou des appareillages,
- réalisation d'analyses physico-chimiques via la PFGP (Plate Forme de mesure en Génie des Procédés du LGC) ou le CDTE (Centre de Diagnostic et de Traitabilité des Effluentsdu LIPE),
- mise en place d'essais sur pilotes afin de valider des conditions opératoires de procédés ou pour la production de lots de matière représentatifs,



PROCESS ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

The CRITT is linked to 2 laboratories of process engineering in the Midi-Pyrénées region:

- *The Environment Engineering Process Laboratory (LIPE : GPI – INSA Toulouse),*
- *The Chemical Engineering Laboratory (LGC : UMR 5503 CNRS/UPS/INPT).*

The CRITT activity is dedicated to research and development studies for big companies as well as for regional small and medium sized companies, or local communities.

The CRITT is a technical operator with his own staff (8 persons including 3 engineers) and equipment. However, the CRITT was created in order to have a strong and permanent interaction with labs.

For most of the CRITT contracts, research teams are solicited, from simple scientific advices up to intense implication.

A lot of industrial domains are concerned by CRITT activities: chemistry, and especially fine chemistry, pharmacy, material production, spatial technologies, and environmental technologies for waste matter (liquid, solid or gaseous).

The CRITT services are sized according to customer request. It can be

- *bibliographical research and synthesis,*
- *technical appraisals on industrial process or on unit operation,*
- *physico-chemical analysis by PFGP (analytical platform of LGC) or by CDTE, (analytical platform of LIPE)*
- *pilot studies for determining or checking optimal operating conditions,*
- *production of lots on a batch pilot,*
- *pilot plant building and running,*

- conception, montage et exploitation de prototypes semi-industriels,

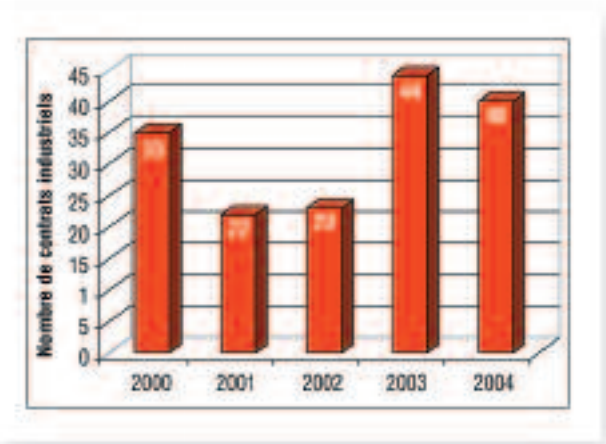
- aide à la création d'entreprises innovantes (accès à du matériel, accueil au sein des laboratoires, soutien technique...).

Le CRITT fait appel aux compétences techniques de la PFGP dans le cas de mesures physico-chimiques liées à un procédé (viscosité, tension superficielle, DSC, ATG, MEB, BET, GC, HPLC, ICP – AES...). De plus, le CRITT dispose en interne d'une personne ressource capable d'assurer des prestations demandant du développement analytique (CPG, HPLC, GC-MS).

La compétence du CRITT s'étend, de par son adossement au LIPE, aux technologies environnementales. En partenariat avec ce laboratoire, le CRITT a constitué une plateforme originale, le CDTE. L'idée est ici de proposer aux industriels de toutes tailles, mais aussi aux collectivités locales des prestations d'analyses qui permettent de déterminer quelle pourrait être la voie de traitement optimale (biologique, physique, couplage de procédés...) d'un effluent (liquide, solide ou gazeux) d'origine urbaine ou industrielle.

Depuis sa relance en tant qu'opérateur technique en 1999 par ses laboratoires d'adossement, le CRITT a bénéficié d'un soutien constant de la Délégation à la Recherche et à la Technologie et du Conseil Régional Midi-Pyrénées. Ainsi, un programme d'investissement d'une durée de trois ans (2001-2003 : contrat de plan Etat/Région) a permis au CRITT de procéder à des aménagements de salles spécifiques et à des achats d'équipements analytiques (analyseurs sels et métaux, d'azote, de C02/02, poids moléculaire, respiromètre, chromatographie sur gel) et de pilotes (banc d'ozonation, colonne de distillation, mélangeur- décanteur multi-étagé, colonne d'extraction liquide – liquide, réacteur émaillé De Dietrich avec colonne de rectification). Ce soutien se poursuit en 2004–2005 sur deux thématiques précises, la technologie du dioxyde de carbone supercritique (site CRITT/LGC) et le traitement des déchets solides (site CRITT/LIPE).

Ce soutien institutionnel correspond également à la volonté de faire des structures de transfert, et de notre CRITT en particulier, des outils opérationnels du développement économique régional par l'innovation. Ceci se traduit au quotidien par de nombreuses prestations gratuites (conseils et expertises) au profit des PME régionales, par de l'accès facilité et à coût réduit aux matériels et aux compétences humaines du CRITT et de ses laboratoires d'adossement, ainsi que par le soutien à la création d'entreprises innovantes en Midi-Pyrénées (après).



- *assistance to the development of innovative start-ups (access to equipments, technical support...).*

The CRITT has access to the LGC analytical Platform, the PFGP, for physico-chemical analysis (viscosity, superficial tension, RC1, DSC, TGA, MEB, BET, GC, HPLC, ICP–AES...) in order to characterize industrial processes and products.
For specific cases, CRITT engineers are able to propose and develop the analytical procedures (CPG, HPLC, GC-MS).

In addition, in association to LIPE, the CRITT provides expertise in environmental technologies. Indeed, LIPE and CRITT have developed an original analytic platform, the CDTE, devoted to waste treatment. The aim of CDTE is to use analytical devices in order to determine the more appropriate processes (biological, physical or coupled) for the treatment of industrial or urban waste.

The CRITT is supported by the French Minister of Research and by the Midi-Pyrénées Regional Council.
In this way, in important specific financial support (2001-2003) made it possible to acquire analytical equipments (analysis devices for N2, C02/02, molecular weight, biodegradation potential, gel chromatography) and pilot plants ozonization, mixer-settling unit, liquid–liquid extraction pulsed column, continuous distillation unit, De Dietrich batch reactor).

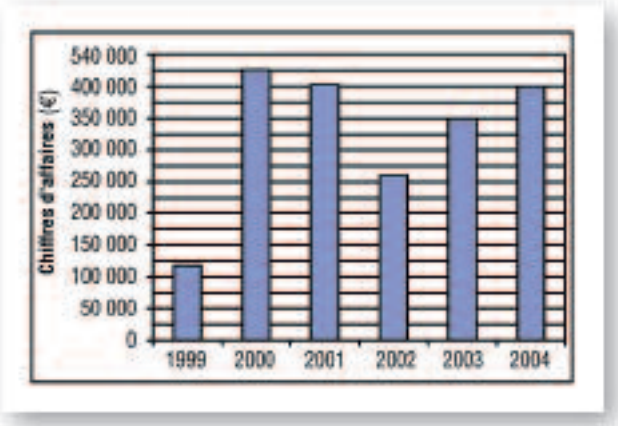
In 2004 and 2005, the institutional support is dedicated to supercritical carbon dioxide industrial applications (equilibrium batch reactor, co-solvent injection system, fractionation unit) and to waste solid treatment and characterization (grinders, fermentation pilot plant, nucleic probe, FT-IR, DNA enhancer).

The CRITT is an efficient tool for economic development through innovation. So, for regional SME's or start-up creators, the CRITT proposes specific actions such as free of charge advices, or low-cost access to equipment.

GENIE DES PROCEDES - TECHNOLOGIES ENVIRONNEMENTALES

PROCESS ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

Ce rapport d'activité permet donc de faire un bilan de l'activité industrielle et commerciale du CRITT sur une période (2002–2005), marquée par un redressement important de l'activité du site CRITT/LGC suite au sinistre du 21 septembre 2001. Soulignons à cet égard que l'équipe technique du LGC a fortement contribué durant cette période difficile (2002-2003) au redémarrage des activités contractuelles du CRITT.



This activity report enables us to draw up a balance sheet of CRITT activities all over the past 4 years. Hawever after the 21 September of 2001, a significant decrease of commercial activities was noted.
Since 2003, this difficult period has been now overcome and the turnover is quite correct, mainly due to the assistance of the LGC technical staff.

Les contrats du CRITT sont en moyenne signés à 60 % avec des PME, tandis que le chiffre d'affaire est généré à 70 % par des contrats avec les grands groupes. Sur la période 2002 – 2004, ce sont donc près de 120 contrats qui ont été signés entre le CRITT et des entreprises pour un montant cumulé de près de 1 M€.

CRITT industrial customers originate at 60 % from SME's, but 70 % of the turnover is generated by big company contracts. For the period 2002-2004, around 120 contracts were signed between CRITT and enterprises for an approximate 1M€ amount.

Le CRITT était jusqu'en 2004 une association Loi 1901. En avril 2004, le personnel et les activités du CRITT ont été intégrés au sein des SAIC (Service d'Activités Industrielles et Commerciales) de l'INPT et de l'INSAT. Cette intégration renforce le positionnement et la légitimité du CRITT au sein du monde universitaire tout en conservant ses capacités opérationnelles face aux demandes industrielles.

Up to 2004, the juridical state of the CRITT was under an association (1901's law). In April 2004, the CRITT staff and all activities were integrated in the SAIC (Commercial and Industrial Activity Services) of INP and INSA.

This integration was realized in order to reinforce the CRITT status inside the university and aims at keeping efficiency towards industrial requests.

Il est difficile d'illustrer et de faire rentrer dans un classement type les activités du CRITT tant la transversalité industrielle du génie des procédés nous amène à travailler dans des secteurs différents. Nous avons donc préféré nous restreindre pour la suite de ce document à quelques exemples significatifs de réalisations du CRITT en mettant l'accent sur les contrats réalisés sur le site LGC/CRITT.

It is not easy to present a well organized description of all CRITT activities.
So, we prefer here to give some examples of industrial contracts realized on the LGC site.

Développement d'un procédé de régénération des huiles moteur usagées

Le CRITT a mené pour le compte de la société OSILUB du groupe VEOLIA une série d'études (2000–2005) dont l'objectif était de développer un procédé industriel de régénération des huiles usagées : expertise sur des procédés industriels existants, recherche et synthèse bibliographique, essais pilote d'extraction liquide–liquide, montage d'un pilote et production de lots d'huiles régénérées, optimisation des conditions opératoires des procédés unitaires, prédimensionnement des appareillages industriels. La construction de l'usine (120.000 tonnes/an) est programmée pour la fin de l'année 2005.

Used oil regeneration process

Intense cooperation between CRITT and the OSILUB company (VEOLIA group) has been established since 2000 in order to develop an industrial process for used oil recycling. The CRITT realized all technical appraisals like pulsed column extraction trials for refining oils, recycling oil production (500 litres), optimisation of operating conditions and scale-up for the industrial equipment. Industrial plant construction is scheduled for the end of 2005 year.

Essais de faisabilité de technologies de génie des procédés, production de lots représentatifs

Le CRITT réalise de façon récurrente des essais sur des pilotes de taille semi industrielle afin de valider la faisabilité de technologies et de déterminer des conditions opératoires réalistes : extraction liquide–liquide en

mélangeur-décanteur, en colonne pulsée, distillation de lots représentatifs (200 litres), essais de mélange en lit fluidisé et en réacteur agité, synthèses en réacteur De Dietrich, traitement au CO2 supercritique...

Fourniture d'équipement de type colonne d'extraction

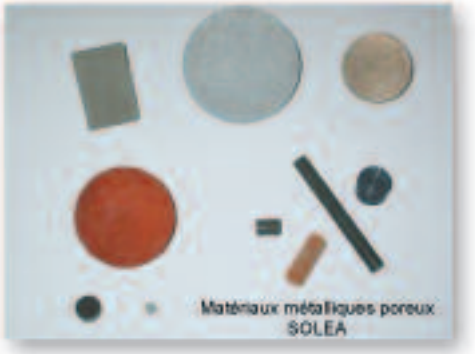
Le CRITT n'a pas vocation d'équipementier si ce n'est sur des technologies très spécifiques comme les colonnes d'extraction pulsées. Trois colonnes (DN50 à DN150) ont été ainsi conçues et démarrées sur des sites industriels depuis 2001.

Etude du nettoyage de polymères par CO2 supercritique

Technologie développée depuis une vingtaine d'années, la technologie du CO2 supercritique connaît depuis 2002 un très fort développement industriel lié, entre autres, à l'intensification des contraintes sécurité et environnementales pesant sur l'utilisation de solvants organiques. Le CRITT a ainsi réalisé plusieurs études d'industrialisation de procédés CO2 (extraction de végétaux, nettoyage de polymères utilisés dans le secteur biomédical, modification de matériaux par réaction avec le CO2 comme solvant). Ajoutons qu'un soutien de la DRRT et du Conseil Régional Midi-Pyrénées a conforté le CRITT dans son axe à travers une dotation en équipement qui permettra de proposer aux PME un accès privilégié à des matériels spécifiques.

Création d'activités et d'entreprises innovantes

Depuis 1999, le CRITT apporte son soutien technique à des entreprises innovantes créées en Midi-Pyrénées : Actichem, Tsaï-Lun, Soléa, Marion Technologies, Seva Technologies, Bois-Valor, Oralance...



Feasibility trials for chemical engineering unit operations batch production

The CRITT often operates trials on semi industrial pilot plants, in order to check or to determine industrial operating conditions. A few examples: continuous extraction column, mixer-settling, distillation, fluidization, mixing technologies, De Dietrich batch reactor syntheses, supercritical carbon dioxide extractions.

Building and running industrial equipment (extraction column)

Although The CRITT is not industrial equipment manufacturer, for one specific technology, pulsed extraction column, it can propose conception and manufacturing of equipment (this linked to an historical strong and rare expertise of the LGC). Three of these columns were sold and implemented on industrial sites during the past three years.

Polymer cleaning and purification by supercritical carbon dioxide (biomedical applications)

Supercritical carbon dioxide is an emerging clean technology. However, this technology becomes now highly evaluated and even chosen by an increasing number of industrialists due to the recent reinforcement of safety and environmental constraints concerning organic solvents. The CRITT has realised several feasibility studies for CO2 industrial development, like vegetal extraction, medical polymer cleaning, or modification of materials by chemical reaction.

Start-up development

Since 1999, the CRITT has been supporting the development of innovative start-ups of Midi-Pyrénées Region: Actichem, Tsaï-Lun, Soléa, Marion Technologies, Seva Technologies, Bois-Valor, Oralance...

DÉPARTEMENT GÉNIE DES INTERFACES ET DES MILIEUX DIVISÉS

Thème GENERATION ET TRANSFORMATION DES MILIEUX DIVISES : APPROCHE PHENOMENOLOGIQUE DES INTERFACES

CONTRATS	RHODIA / Institut de Recherche PIERRE FABRE / L'OREAL / ARKEMA / Projet Région Midi-Pyrénées (2002-2004) avec Turboméca, Talc de Luzenac, Mécaprotec	
COLLABORATIONS	ACI " Transport d'eau dans les agrégats colloïdaux "	Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes, Paris Laboratoire de Physique Statistique, Orsay Laboratoire Environnement et Minéralurgie, Nancy Laboratoire Physique de la Matière Condensée, Paris Centre d'Elaboration des Matériaux et d'Etudes Structurales, Toulouse
	ACI " Energie Conception Durable " (2004-2007) DINANO : Emission d'Aérosols ultrafins lors de la manipulation de nanopoudres	Institut National de Recherche et de Sécurité, Paris Laboratoire d'Etudes Thermiques, Poitiers Laboratoire des Sciences du Génie Chimique, Nancy
	ACI Jeunes (2004-2007) " Nanobroyage – Procédé d'élaboration de suspensions denses de particules nanométriques"	Institut de Mécanique des Fluides, Toulouse Laboratoire Fluides Automatique et Systèmes Thermiques, Paris CIRIMAT, Toulouse Laboratoire Mécanismes et Transferts en Géologie (UPS), Toulouse Laboratoire Génie des Procédés (ENI), Tarbes
	Projet région Midi-Pyrénées (2002-2003) " Procédés d'élaboration de nanoparticules "	Laboratoire de Génie des Procédés et des Solides Divisés, Albi

Thème PROCEDES D'ELABORATION DE MATERIAUX, PROCEDES DE SEPARATION

CONTRATS	Eurotungstène / Fromageries Bel / VEOLIA environnement / EURODIA Industrie / Nestlé Waters Institut Recherche Pierre FABRE / MERIAL	
	Programme POSUMIC du MESR " Synthèse et traitement de poudres sub-micronIqus "	Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales, Toulouse Institut de Chimie de la Matière Condensée (Bordeaux) DG Tech Rhodia Thomson Plasma
	Projet Craft SURFMOD	
	Projets Région 2002/2003 et 2004/2005	Lacroix Ruggiéri puis Marion Technologies
	Programme RITEAU MemEau	Aquasource, Degrémont, SFEC
COLLABORATIONS	Centre d'Elaboration des Matériaux et d'Etudes Structurales,Toulouse Centre Inter Universitaire Recherche Ingénierie des Matériaux, Toulouse Laboratoire de Chimie de Coordination, Toulouse Laboratoire Ingénierie des Procédés Environnement INSA, Toulouse Laboratoire de Transformation et de Vieillissement des Polymères (ENSAM) Paris Université du Minnesota (USA) Université de Blida et USTHB d'Alger (Algérie) ENP Alger (Algérie)	

Thème INTERACTIONS HYDRODYNAMIQUES DANS LES MILIEUX DISPERSES DENSES

CONTRATS	IFP Rueil-Malmaison / IFP Solaize / Total / Alcan (Pechiney) / EDF / GDF / Rhodia Recherche	
COLLABORATIONS	Brown University, (USA) Université de Padoue (Italie) UNAM (Mexico)	
	Plateforme FERMaT : action " microphysique des milieux dispersés " et action " modélisation des procédés diphasiques "	Institut de Mécanique des Fluides, Toulouse Laboratoire Ingénierie des Procédés Environnement – INSA, Toulouse
	ACI " Physicochimie de la matière complexe "	Laboratoire d'Energétique, Toulouse Laboratoire d'Ethologie et Cognition Animale, Toulouse
	PIR " Microfluidique et microsystèmes fluidiques "	Institut de Mécanique des Fluides, Toulouse Laboratoire d'Energétique,Toulouse Laboratoire de Génie Electrique, Toulouse Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, Marseille CETHIL, Villeurbanne
	ACI " Energie, conception durable "	Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, Marseille GRETHE, Grenoble Laboratoire d'Energétique, Toulouse

Thème TRANSFERT ET PHENOMENES INTERFACIAUX

CONTRATS	EURODIA Industrie / Rhodia Recherches / Sofrance	
COLLABORATIONS	Laboratoire Rennais Chimie Ingénierie des Procédés, Rennes Laboratoire Bactériologie Virologie Microbiologie Industrielle (UPS) Toulouse Unité Xénobiotiques (INRA), Toulouse Laboratoire des Sciences du Génie Chimique, Nancy	
	Plateforme FERMAT: Action Filtration	Institut de Mécanique des Fluides, Toulouse
	GIS PROcédés de Séparation Et Transformations Industries Alimentaires CNRS/INRA	
	GDR 2614 " biosalissures en milieu marin "	IFREMER

Thème DEVELOPPEMENT DE METHODES ET TECHNIQUES DE CARACTERISATION

CONTRATS	Aquasource	
	Accord de Collaboration MALVERN Instruments LtD/ LGC-FERMaT sur la Spectroscopie Acoustique (2004-2006)	
COLLABORATIONS	Laboratoire de Transformation et de Vieillissement des Polymères (ENSAM) Paris	
	Plateforme FERMaT : Action Rhéologie	Institut de Mécanique des Fluides, Toulouse

DÉPARTEMENT PROCÉDÉS ELECTROCHIMIQUES ET MATÉRIAUX

Thème REACTEURS ELECTROCHIMIQUES

CONTRATS	Lacroix / Alcan (ex-Pechiney) (2002-2003) / ATOTECH, Berlin (2005-2006) / Motorola	
COLLABORATIONS	Université de Chulalongkorn, Bangkok (Thaïlande) CIRIMAT (Centre Inter-Universitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux), Toulouse LECSO (Laboratoire d'Electrochimie, Catalyse et Synthèse Organique), Thiais LSPCMIB UMR5068, (Laboratoire de Synthèse et Physicochimie de Molécules d'Intérêt Biologique), Toulouse Université Babès-Bolyai, Cluj, (Roumanie) Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, (Suisse) Université Castilla de la Mancha, (Espagne) Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, (Tunisie) Programme CNRS/ URBANA CHAMPAIN depuis 2001	University of Illinois, Urbana Champain (USA)
	Conseil régional de Midi-Pyrénées (2000-2002) " Dépôt métallique électroless sur surface gravée "	
	Conseil Régional de Midi-Pyrénées (2002-2003) " Dégradation des effluents organiques par électrolyse "	
	Conseil Régional de Midi-Pyrénées (2004-2005) " Demande Chimique en Oxygène : faisabilité d'une mesure rapide en vue de la conception d'une mesure en ligne "	
	BQR, UPS (2003) " Conception - Fabrication Potentialités des microréacteurs électrochimiques "	
	BQR, INPT (2003) " Elaboration d'électrodes DSA composites (Ti/Ta/IrO2) par techniques CVD et dépôts électrolytiques en sels fondus "	
	Fédération " Procédés Matériaux " (2003-2005)	
	Pôle d'excellence de l'Agence Universitaire de la Francophonie AUF-BECO (2004-2005) ELCONDES : "méthodes ELectrochimiques de CONtrôle et DEStruction des polluants organiques et inorganiques"	

Thème ELECTROCHIMIE DES MILIEUX A HAUTES TEMPERATURES

CONTRATS	CEA centre de Pierrelatte / CEA centre de Marcoule / EDF Contrat MINEFI (Ministère de l'Industrie, de l'Economie et des Finances) et Alcan
COLLABORATIONS	Université des Sciences et de Technologie de Beijing (Chine) CIRIMAT, Toulouse Centre SPIN de Saint-Etienne (Sciences des Processus Industriels et Naturels) LTPCM, Grenoble (Laboratoire de Thermodynamique et de Physico-Chimie Métallurgiques) LECA, Paris (Laboratoire d'Electrochimie et de Chimie Analytique)
	CNRS PACE (Programme sur l'Aval du Cycle Electronucléaire) 2003-2005
	GDR PARIS " Spéciation, modélisation pour le retraitement de déchets nucléaires "
	PCR RSF Thorium " Développement d'un réacteur nucléaire de génération IV utilisant les sels fondus "

Thème CAPTEURS ELECTROCHIMIQUES ET PROCEDES

CONTRATS	Institut Technique de la Vigne et du Vin / Oenodev / Institut de Recherche Pierre Fabre Pierre Fabre Dermocosmétique
COLLABORATIONS	Observatoire de Midi-Pyrénées, Toulouse IFREMER Laboratoire de Neurobiologie, Plasticité Tissulaire et Métabolisme Energétique UMR 5018 (Faculté de Médecine de Rangueil), UPS, Toulouse
	BQR, Université Paul Sabatier " Microbiocapteur électrochimique pour le dosage du glucose cérébral "
	GDR CNRS 2619 " Microbiocapteurs "

Thème INTERFACES MATERIAUX CONDUCTEURS / SYSTEMES BIOLOGIQUES

CONTRATS	CEA-Saclay et Cadarache / BASF Ludwigshafen, (Allemagne) / CESI, (Italie) / NEOSENS / Nestlé Waters Vittel / CEA-Saclay (2004-2006)	
COLLABORATIONS	CNR-ISMAR, (Institut des Sciences Marines), Gênes, (Italie) Ecole Polytechnique de Zurich, (Suisse) Université d'Amsterdam (Pays-Bas) Université de Stuttgart (Allemagne) Université de Duisbourg-Essen, (Allemagne) Université de Gent, (Belgique) Université Libre de Lisbonne, (Portugal) University d'Oxford, (Royaume-Uni) LEEI UMR 5828, Toulouse (Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle) CEMES, Toulouse (Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales) LBB UMR 5504, Toulouse (Laboratoire de Biotechnologie et Bioprocédés) LIPE INSA Toulouse (Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Environnement) IMFT UMR 5502, Toulouse (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse) Corrodys CRITT Basse Normandie Cottentin, Cherbourg	
	Programme RIT-Eau (2003-05) " Microcapteur à Biofilm "	
	BQR, INPT (2004) " Biocatalyse et PEMFC "	
	Programme régional (2004-2005) 'Maîtrise des biofilms en conduites industrielles'	
	ACI 2000 (2000-2002) " SVET et Bicorrosion "	
	ACI Energie, Conception Durable (2004-2007) 'Biocatalyse et PEMFC'	
	Projet européen STREP-NEST, 6ème PCRDT (2004-07) 'EA-Biofilms'	Voir détails dans rubrique "Positionnement"
	PNIR-Biofilms (signé en 2005)	Voir détails dans rubrique "Positionnement"
	Projet européen, 5ème PCRDT (2001-04) " Industrial biocatalysis with new oxygenases in a novel electro-enzyme reactor "	
	GDRE+ 'SMILE " Surfaces of Materials In Living Environments "	

DÉPARTEMENT PROCÉDÉS ET SYSTÈMES INDUSTRIELS

Thème ANALYSE FONCTIONNELLE DES PROCEDES

CONTRATS	Rhodia / Holis / Arkema / N-Ghy / ADEME / CEA / IFP / EPUSP, Sao Paulo (Brésil) / ASPEN Tech. / BASF AG Bayer / BP International Limited / DOW Chemical Company / Hyprotech S.L. ICI / MCC (Mitsubishi Chemical Corporation) / Norsk Hydro / TotalFinaElf / Simulation Engineering / ProSim	
COLLABORATIONS	Technical University, Lyngby (Danemark) Imperial College-CPSE, Londres (UK) NTNU,Trondheim(Finlande) RWTH, Aachen (Allemagne) Universitad Politechnica de Catalunya, Barcelone (Espagne) CIRIMAT, Toulouse Université Technologique et d'Economie, BUTE, Bucarest (Hongrie)	
	ADEME – PROSIM : RegSol : "Conception et conduite d'unités de régénération de solvants par distillation discontinue" (2002 – 2004)	ProSim
	ATIP Jeunes Chercheurs : Approches thermodynamique et de simulation moléculaire pour la prédiction des propriétés d'usage des produits pulvérulents obtenues lors des étapes d'enrobage et / ou granulation (2002)	
	PAI BALATON " Conception, modélisation et optimisation de procédés de distillation extractive discontinue pour la séparation des effluents liquides " (2004 – 2006)	
	ALFA : Conception, modélisation et optimisation de procédés discontinus en chimie fine et pharmaceutique (2003) ALFA II : (2005 – 2007)	
	CMEP (Comité mixte interuniversitaire franco-algérien) : Conception couplée produits – procédés assistée par ordinateur (CP2A0) : formulation et applications (2004-2006)	
	Global CAPE-OPEN - Programme Européen BRITE-EURAM/IMS project IMS 26691 (Contract BRPR-CT98-9005) : "Delivering the power of component software and open standard interfaces in computer aided process engineering (1999-2001) GCO-Support - Programme Européen GROWTH 1999 : "Accompanying measures for delivering the power of component software and open standard interfaces in computer aided process engineering". (1999-2000)	

Thème CONCEPTION, OPTIMISATION ET ORDONNANCEMENT DES PROCEDES

CONTRATS	CEA, centre de VALDUC / Société Isochem SNPE / CEN de Saclay	
COLLABORATIONS	LIMA- IRIT, Laboratoire d'Informatique et de Mathématiques Appliquées, Toulouse Ecole Polytechnique de Montréal (Canada) " réseaux d'échangeurs de matière, usine de pâte à papier " Université de TIANJIN (CHINE), département de Génie Chimique	
	BQR 2004 "Développement et aide pour l'utilisation des grilles de Calcul"	Institut de Recherche et d'Informatique de Toulouse (IRIT), Toulouse
	BQR Générique INPT/ENIT dans le cadre d'un projet sur la conception optimale et l'ordonnancement d'ateliers discontinus	Laboratoire Génie de la Production/ENIT INPT, Equipe Production Automatisée, Tarbes

Thème GENIE INDUSTRIEL

CONTRATS	Siemens automotive / LKS cooperative Corporation (Espagne) / INTENTIA (Movex) / Delphi / Innovene-BP Lavera CEA Cadarache - CEA Marcoule / ProSim SA / Airbus industries Toulouse / Volkswagen SA (Mexico) / Pierre Fabre Vetoquinol	
COLLABORATIONS	Université de Mondragone (Espagne) Université de Bucarest ((dpt Energetica) (Roumanie) Un de Maribor programme Proteus (Slovénie) Ecole Supérieure de Commerce - Toulouse Imperial College de Londres, (Grande-Bretagne) MATI - Université technologique de Moscou - (Russie) Un. Catholique de Maulé (Chili) Ecole Polytechnique de Montréal (Canada) IRIT, Toulouse LAAS, Toulouse ENSGTI, Pau Instituto Tecnologico y des Estudios Superiores de Monterey, ITESM (Mexique) ENSAM Bordeaux INSA Strasbourg (LAPRS)	
	Contrat Région Midi-Pyrénées CCRDT " Altshuller TRIZ for TRIZ Studies (AITRIZ) "	TRIZ-France Association Française d'Ingénierie des Systèmes (AFI) Association Francophone de Management de Projet (AFITEP)
	Projet européen Leonardo de Vinci " Economic animator in the enlarging Europa " , 2004-2007	coordination Pologne partenaires : Espagne, Italie, Suède, Pologne DEPARTEMENT Réaction, Mélange, Séparation

DEPARTEMENT RÉACTION, MÉLANGE, SÉPARATION

Thème DEPOLLUTION, PROCEDES PROPRES

CONTRATS	L'AIR LIQUIDE / ECOLAVIE-France	
COLLABORATIONS	Universités Algériennes : USTHB (Alger), Blida, Guelma et Tlemcen	
	ACI " Dépollution- Non Pollution "	Institut de Recherche sur la Catalyse UPR 5401, Lyon Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Environnement – INSA, Toulouse
	Projet "Procédés propres pour la modification chimique de la cellulose"	Centre de Recherche des Macromolécules Végétales de Grenoble (CERMAV, UPR CNRS)
	ANVAR : Projet "EXT.A.S.E." (Extraction en absence de solvant pour effluents industriels transfert vers différents secteurs d'activité)	CRITT Génie des Procédés – Technologies environnementales Service d'Activités Industrielles et Commerciales (SAIC) de l'INP de Toulouse
	Réseau interrégional "Systèmes colloïdaux" (Communauté de travail des Pyrénées)	Nombreux laboratoires de diverses universités et du CSIC en Catalogne espagnole Laboratoire des Fluides complexes, Université de Pau Laboratoire CPMOH, Université de Bordeaux I
	Actions intégrées franco-algériennes dans le cadre du CMEP Projet 00MDU509 : "Photosulfochloration de paraffines linéaires par le chlorure de sulfuryle. Etude des propriétés tensio-actives des produits en détergence et en récupération assistée du pétrole" Projet 03MDU597 : "Valorisation de la diatomite d'Algérie en substances auxilliaires pharmaceutiques"	Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger (Algérie) Ecole Polytechnique d'Alger (Algérie)
	STREP : programme 5ème PCRD REMOVALS : Remediation, modification, valorisation of sludges	15 partenaires européens dont 3 industriels coordonnés par l'Université de Tarragona (Espagne)
	Projet Européen Mobilis : Mobility Initiatives for Local Integration and Sustainability Tisséo - SMTC	Tisséo - SMTC Tisséo - Connex Gaz de France Agronomie – Environnement Ecotoxicologie (AEE) INP-ENSAT- Toulouse Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT)
	Contrat franco-indien CEFIPRA "liquides ioniques"	

Thème MICROREACTEURS

CONTRATS	CORNING	
COLLABORATIONS	Laboratoire du Futur (LOF), UMR RHODIA-CNRS – Talence Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS), UPR CNRS - Toulouse Université de Harvard (USA)	
	Plate-forme Fermat (collaboration avec l'IMFT) Simulation de l'écoulement diphasique en microcanaux : application au transport de micro-gouttes	
	Projet soutenu par le Conseil Régional Midi-Pyrénées : MICROPROP Conception de microréacteurs pour des procédés industriels plus propres et plus sûrs	Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS), UPR CNRS - Toulouse
	Action Concertée Incitative " MICRODEPOL "	Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS), UPR CNRS - Toulouse Institut de Recherche sur la Catalyse UPR 5401 - Lyon
	ANR Programme Non thématique 2005 / EMP2M (des Emulsions Microfluidiques aux Particules de Polymères Microstructurées)	Laboratoire d'Ingénierie des Polymères pour les Hautes Technologies (LIPHT) UMR 7165 - Strasbourg
	IMPULSE (projet Intégré du 6ème PCRD démarré en 2005)	voir détails dans la rubrique Positionnement
	Programme ARC Multiphase flow in microchannels	Université de Sydney (Australie Institut de Microtechnologie de Mayence (IMM)(Allemagne)

Thème INGENIERIE DES REACTEURS

CONTRATS	RHODIA / SANOFI-AVENTIS / AIR LIQUIDE / PECHINEY / TOTAL CRAY-VALLEY / BIOTRADE SAV TESSENDERLO / SOCABU-EXXON / SNPE	
COLLABORATIONS	Laboratoire de Génie des Procédés, Environnement, Agroalimentaire UMR 6144 - St Nazaire Laboratoire de Chimie et Procédés de Polymérisation - UMR 140 - Lyon Université de Sydney (Australie), co-tutelles de thèse Université de Théssalonique (Grèce), accueil de chercheurs invités CNRS National Chemical Laboratory Pune (Inde) Contrat CEFIPRA (Liquides ioniques) Université de Mérida (Vénézuela), co-tutelle de thèse, PCP France-Vénézuela	
	Projet ALFA " PRODIS : conception, simulation et optimisation de procédés discontinus pour la chimie fine et pharmaceutique "	Centro de Quimica Farmaceutica, Univ. La Havane (Cuba) Univ. de Bahia Blaca (Argentine) Univ. Santiago de Compostela (Espagne) DTU Lyngby (Danemark)

DEPARTEMENT RÉACTION, MÉLANGE, SÉPARATION

Thème PROCEDES INTENSIFIES, SECURITE		
CONTRATS	ARKEMA / BOOSTEC / INERIS / SNECMA / PIERRE FABRE, Plantes et Industrie / RHODIA / ROUSSELET – ROBATEL	
	U.T. Berlin, Budapest UDE / Université de Barcelone, (Espagne) / LaTEP, Pau	
COLLABORATIONS	PRI Energie 2003 : " Echangeurs multi-fonctionnels "	Laboratoire de Thermocinétique de Nantes (LTN) Laboratoire d'Energétique et Mécanique Théorique et Appliqué (LEMTA) de Nancy Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA) de Rouen Laboratoire de Mécanique des Fluides et Acoustique (LMFA) de Lyon Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques (GRETh) du CEA Grenoble
	ACI " Nouvelles méthodologies analytiques et capteurs " : CAPLOG	Laboratoire d'Automatique et de Génie des Procédés (LAGEP) – CPE/CNRS/UCB – Villeurbanne Laboratoire des Sciences du Génie Chimique (LSGC) – UPR CNRS – Nancy Laboratoire d'Automatique de Grenoble (LAG) UMR 5528 – INPG/CNRS/UJF – Grenoble
	Contrat Région : "Ingénierie des Procédés de Traitement des effluents gazeux".	Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Environnement – INSA Toulouse
	Programme Interrégional Aquitaine – Midi-Pyrénées " Thermique en Microfluidique "	Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS), UPR CNRS – Toulouse Laboratoire de Génie des Procédés des Solides Divisés (LGPSD), UMR 2392 – Albi Transferts Ecoulements Fluides Energétique (TREFLE), UMR 8508 – Talence Centre de Physique Moléculaire Optique et Hertzienne (CPMOH), UMR 5798 – Talence Laboratoire du Futur (LOF), FRE RHODIA-CNRS Talence THERMOCONCEPT SARL – Talence ARIA Division CAPTHERMIC – Aston
	Programme "Open Plate Reactor" d'ALFA LAVAL	Chalmers University of Technology (Suède) Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques (GRETh) du CEA Grenoble. Lund Institute of Technology (Suède) PROGEPI – Laboratoire des Sciences du Génie Chimique – UPR CNRS – Nancy
	Programme Balaton 2002-2004 : " Etude expérimentale et théorique de nouveaux procédés semicontinus pour la séparation/récupération de solvant "	Budapest University of Technology and Economics, Dpt Chem. Eng.
	Programme Procope 2005-2006: " Distillation réactive continue et semi batch pour l'intensification des procédés et la valorisation des effluents "	TU Berlin ; FG Dynamik und Betrieb Teschnischer Anlagen LaTEP de Pau
	Contrat franco-indien (CEFIPRA) " Water and liquid effluents treatment: role of cavitation "	Institute of Chemical Technology – University of Mumbai (Inde)
	STREP : programme 5ème PCRD REMOVALS : Remediation, modification valorisation of sludges	15 partenaires européens dont 3 industriels coordonnés par l'université de Tarragona (Espagne)
	Projet ALFA " PRODIS : conception, simulation et optimisation de procédés discontinus pour la chimie fine et pharmaceutique "	Centro de Quimica Farmaceutica, Univ. La Havane (Cuba) Univ. de Bahia Blaca (Argentine) Univ. Santiago de Compostela (Espagne) DTU Lyngby (Danemark)
	IMPULSE (projet Intégré du 6ème PCRD démarré en 2005)	voir détails dans la rubrique " Positionnement "

DEPARTEMENT RÉACTION, MÉLANGE, SÉPARATION

Thème GENIE DES SYSTEMES MICROBIENS		
CONTRATS	Alliance 7 / Cave de Buzet / Evialis / Goemar / Laffort œnologie / La Toulousaine de céréales / Nestlé / Oenodev S.A. / PolyMem S.A. / Proneol Lda. / Syngenta / Lallemand / Lamothe-abiet / Onivins	
COLLABORATIONS	Communauté d'Agglomération du Grand Toulouse / Unité Biochimie et Structure des Protéines INRA, Jouy en Josas / Faculté d'œnologie de Bordeaux / Faculté de Pharmacie, Montpellier / Université de Chulalongkorn , Bangkok (Thaïlande) / Université Saint Joseph, Beyrouth (Liban) / Imperial College of London (Grande-Bretagne) / Deutsche Krebsforschung, Heidelberg (Allemagne) / Université de Guelph, Ontario (Canada) Université de Winston Salem, Caroline du Nord (USA) / Université des Sciences et Technique, Chisinau, (Moldavie) / Centro Quimica Farmaceutica, La Havane (Cuba)	
	BQR 2004 INP/INSA	Laboratoire de Biotechnologie-Bioprocédés (UMR-CNRS 5504) INSA - Toulouse
	Programme Prosetia (CNRS - INRA) Procédés de séparation et de Transformation des Industries Agroalimentaires ; Axe2 : Gestion globale des effluents, Epuration par bioréacteur à membranes et post-traitement des boues : maîtrise des caractéristiques de la biomasse (production, activité, stabilité,...) en vue de l'amélioration des procédés d'épuration des rejets liquides et de post-traitements	LBE-INRA Narbonne Laboratoire de Biotechnologie-Bioprocédés (UMR-CNRS 5504) - INSA - Toulouse STLO - Rennes
	Contrat Région : Bioréacteur à membranes immergées pour le traitement des eaux usées domestiques en vue d'auto assainissement	Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Environnement – INSA Toulouse PolyMem S.A
	Projet région " GAMATOX Evaluation de la fertilité masculine, relation avec l'utilisation de médicaments, et/ou polluant	Hôpital Purpan – Toulouse tous les CECOS de France
	Projet européen MONERIKA Evaluation des risques génotoxiques engendrés par la pollution de l'Erika sur les poissons et les moules ; validation de biomarqueurs	IFREMER
	Cadre PCP France-Mexique " Etude physiologique de deux souches de levure impliquées dans l'étape fermentaire de l'élaboration de la Téquila "	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseno del Estado de Jalisco (Guadalajara-Mexique)
	Action intégrée Pavlé –Savic (2004-2006) Etude des facteurs impliqués dans la néphropathie endémique des Balkans et les cancers des voies urinaires en Serbie et les cancers des voies urinaires en Serbie	Institut de néphrologie, Université de médecine de Nis, (Serbie)
	PROTARS, France-Maroc, 2002-2006, Contamination en OTA des blés marocains	Faculté des Sciences, Département Biologie, Université Chouaïb Doukkali, El Jadida (Maroc)
	5ème PCRD OTA Risk assessment (2001-2005)	Université de Würzburg, (Allemagne) Imperial college, Londres, (Grande-Bretagne) Institut supérieure de la Santé, Rome, (Italie) Université de Lausanne, (Suisse) Nestec, Centre de recherche Nestlé, Vevey, (Suisse) Université de Viterbo, (Italie)
	Action intégrée Franco-Algérienne. (2002/2006) Recherche sur les molécules antifongiques potentiellement intéressantes dans les domaines agronomique, alimentaire et pharmaceutique produites par des actinomycètes rares des sols sahariens	Laboratoire de Microbiologie. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides. Alger (Algérie)
	Action intégrée Franco-Marocaine (2003/2006) Evaluation et maîtrise du risque d'une mycotoxine (l'ochratoxine A) dans les filières céréales, olives et raisin.	Laboratoire de Biochimie Alimentaire, Université Sidi Mohamed ben Abdallah, Fes (Maroc)
	ACI Microbiologie. (2004-2006) Characterisation of new secondary metabolite biosynthetic pathways in Streptomyces ambofaciens	Institut de Génétique et Microbiologie, UMR-CNRS 8621, Orsay Institut Pasteur, Unité de Biochimie Microbienne, Paris Laboratoire de Génétique et Microbiologie UA INRA 952, Vandoeuvre-lès-Nancy. Laboratoire de Fermentations et Bioconversions Microbiennes (EA 1143) Vandoeuvre-lès-Nancy
	Aliment-Qualité-Sécurité (2003/2006) Contribution à la gestion du risque ochratoxine A (OTA) dans la filière raisin, jus de raisin et vin.	Laboratoire de Pharmacologie - Toxicologie UR 66 INRA. Saint Martin du Touch ITV Narbone FOULON SOPAGLY, Rivesaltes
	5ème PCRD Wine-Ochra Risk (2001/2005) Risk assessment and integrated ochratoxin A (OTA) management in grape and wine.	Catholic University of Piacenza, Faculty of Agriculture, Piacenza (Italie) Microbiologia, Departament de Sanitat i d'Anatomia Animals, Facultat de Veterinaria, Universitat Autonoma de Barcelona, Barcelona (Espagne) Cabi BioScience (UK) Centre Bakeham, Lane,Egham, Surrey (UK) Departamento Engenharia Biologica, Universidade do Minho, Braga (Portugal)

CYCLE DE CONFERENCES

Mis en place en 1995, le cycle de conférences organisé par le Laboratoire de Génie Chimique a permis d'inviter, entre 2002 et 2005, 20 spécialistes français et étrangers. Il s'agit de conférences, spécifiques en Génie des Procédés, mais aussi ouvertes à d'autres domaines scientifiques, en particulier la physique et la chimie. Ces manifestations sont destinées à un large public, composé à la fois de jeunes scientifiques (Master Recherche, Doctorants) et de chercheurs confirmés du Génie des Procédés, de Bio-procédés et de la Mécanique des Fluides.

	Conférencier	Titre de la conférence
2002		
23 avril 2002	Prof. Alvin NIENOW University of Birmingham, School of Chemical Engineering, Mixing Research Group (UK)	The effect of impeller type and scale on drop sizes in liquid-liquid dispersions
11 juin 2002	K. D. P. NIGAM, Prof. Chem. Eng. Dept., IIT Delhi (Inde)	Design of Novel Heat Exchanger / Reactor
9 octobre 2002	Michael MATLOSZ, Professeur ENSIC INPL, Nancy	Microfluidique et Génie Chimique
5 décembre 2002	Paul-Marie MARQUAIRE Département de Chimie Physique des Réactions CNRS - UMR 7630, ENSIC, Nancy	Modèles cinétiques de l'evolution thermique des pétroles dans les gisements
19 décembre 2002	Mark CLARK Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois, (USA)	The polysulfone colloids: characterization, stability and performance to prevent membrane fouling by natural organics.
19 décembre 2002	Dr Michael KÜPPER, Electrochemical Processes Chemical Process Engineering, Institut für Mikrotechnik Mainz, (allemagne)	Microstructure Components for Modern Chemistry
2003		
30 avril 2003	Daniel SAMAIN, CERMAV, univ. Joseph Fourier, Lyon	Chromatogenic Chemistry, a new brand of chemistry for molecular grafting nanotechnology.
9 avril 2003	Paul DURU (School of Chemical Engineering. Cornell University)	Coalescence induite par la turbulence dans les aérosols
2 juillet 2003	Jean-Claude CHARPENTIER, Directeur CPE Lyon et Président de la Fédération Européenne de Génie Chimique	L'avenir du génie des procédés
27 mars 2003	M.THIROUIN, président de l'Institut International de l'Echantillonnage, Paris	Analyses physico-chimiques et échantillonnage
13 novembre 2003	J. BERTRAND, Directeur du LGC, Toulouse	Vers un nouveau Génie des Procédés

	Conférencier	Titre de la conférence
2004		
22 janvier 2004	Jean Pierre DAUDEY Laboratoire de Physique Quantique, Université P. Sabatier, UMR 5626 CNRS, Toulouse	Modélisation des systèmes moléculaires complexes : à quel niveau (quantique, classique, mixte), avec quelle précision, avec quelle méthode ?
26 Février 2004	Pr. Rémy PECH, Président de L'Université de Toulouse-Le Mirail	Histoire Moderne de Toulouse
4 Mai 2004	Dr Andrzej STANKIEWICZ Senior Scientist with DSM Research in Geleen, The Netherlands, and Associate Professor at Delft University of Technology	How to make blast furnace green; process intensification road to sustainable manufacturing
9 Juin 2004	Prof. S. KRESTA University of Alberta, (Canada)	Mixing and Complex Processes: Modelling the Effect of Mixing Scales on Multi-mechanism Processes
17 Septembre 2004	Adrian BEJAN Professor of Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, (USA)	Théorie constructale
2005		
18 Février 2005	J.-P. GLATZ Commission Européenne, CCR, Institut des Transuraniens	Développement de techniques pyrochimiques de retraitement
8 Avril 2005	T. MCKENNA Directeur de recherche CNRS, Laboratoire de Chimie et Procédés de Polymérisation (ESCPE), Lyon	Applications de la mini-émulsion: Création des émulsions, synthèse de latex et manipulation des masses molaires
30 Juin 2005	Professeur F. LARACHI Université Laval, Québec (Canada)	Approche multi-échelle pour réacteurs catalytiques polyphasiques : le voyage au long cours de l'échelle du catalyseur à l'échelle du réacteur.
15 Septembre 2005	Professeur Jamel CHAHED, Laboratoire de Modélisation en Hydraulique et Environnement Ecole Nationale des Ingénieurs de Tunis, (Tunisie)	Turbulence et transfert en écoulement à bulles

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES

Depuis 1985, le Laboratoire de Génie Chimique a pris l'habitude d'organiser des manifestations scientifiques sous la forme de colloques, séminaires ou congrès. Le Laboratoire de Génie Chimique s'était doté d'une structure d'organisation, PROGEP, qui fût intégrée au SAIC de l'INPT en 2004 et qui est souvent sollicitée.
Il est remarquable de voir que les manifestations organisées durant les quatre dernières années ont regroupé de 20 à plus de 1000 participants et qu'elles ont eu lieu dans diverses villes en France ou à l'étranger.

2002		
14 Juin 2002,	Journée scientifique : **Traitement des eaux potables et des eaux usées : que faire des rejets des stations à membranes ?** Paris	Organisée par Philippe Aptel
7-12 juillet 2002	**ICOM 2002 (International Congress on Membranes and Membranes Processes)** Toulouse	Organisé par : European Membrane Society, Laboratoire de Génie Chimique (Pierre Aimar, Claire Albasi, Philippe Aptel, Patrice Bacchin, Christel Causserand, Michael Clifton, Martine Meireles, Hélène Roux-de Balman), et l'INSA-GPI 1081 participants internationaux
15 au 20 septembre 2002	**AMEP2002 : Analyse Multi-Echelles des Procédés CVD et PECVD** Aspet (Hte-Garonne)	Ecole thématique du CNRS, organisée par Brigitte Caussat 70 participants
24-25 octobre 2002	**SIMO' 2002** Toulouse	Organisé par J.M. Le Lann, V. Gerbaud, M. Meyer, X. Meyer 80 participants francophones
2003		
21-22 février 2003	**Cape Forum** Toulouse	Organisé par Xuan Meyer, Xavier Joulia et Vincent Gerbaud 40 participants européens
22-23 mai 2003	**4th Conference on the Applications of Power Ultrasound in Chemical and Physical Processing** Besançon	Organisé par Anne-Marie Wilhelm (coorganisation avec J.Y.Hihn, LCMI-Besançon) 100 participants
12-13 novembre 2003	**Colloque Cristallisation et Précipitation Industrielle - Cristal 2** Toulouse	Organisé par Béatrice Biscans et Christine Frances 56 participants
17-18 novembre 2003	**10èmes journées de Formulation de la SFC,** Toulouse Journées de la Société Française de Chimie	Organisateur : Jean-Paul Canselier 92 participants français
28 novembre 2003	**Journée Scientifique : Apport de la simulation à la sécurité des procédés,** Paris Organisée par le GT " Sécurité " de la SFGP	Organisé par Nadine Gabas co-organisatrice avec Didier Gaston (INERIS) 40 participants
8-9 décembre 2003	**Colloque final de l'ACI : Transport d'eau dans les agrégats colloïdaux** Boussens	Organisé par Martine Meireles 30 participants

2004		
26 janvier 2004	**Journée thématique " Biofilms ",** Toulouse Animation scientifique de la structure fédérative toulousaine FERMaT	Organisée par Marie-Line Délia (coordonateur de l'action " Biofilms ") 200 participants
26-27 Février 2004	**Workshop :** X ray tomography, 3D reconstruction, fluid dynamic simulation, towards realistic quantitative tools for the engineering of fibrous filters, Toulouse	Organisé par Martine Meireles 30 participants
30 avril 2004	**Journée Génie Industriel: Les grands aspects du Génie industriel,** Toulouse Rencontre de l'ECGI : Enseignants- Chercheurs en Génie Industriel	Organisé par J.M. Le Lann 120 participants
30 Avril 2004	**Journée thématique " Inclusions et transfert ",** Toulouse Animation scientifique de la structure fédérative toulousaine FERMaT	Organisée par Anne-Marie Billet 40 participants
1-4 juin 2004	**ISMIP 5 : International Symposium on Mixing in Industrial Processes** Séville (Espagne)	Organisation scientifique par Martine Poux et Catherine Xuereb 230 participants internationaux
4 juin 2004	**Journée Scientifique : Analyse des risques et calorimétrie :** **complémentarités entre les essais et les méthodes,** Paris Organisée par le GT " Sécurité " de la SFGP	Organisé par Nadine Gabas co-organisatrice avec Didier Gaston (INERIS) 27 participants
28 septembre 2004	**Journée Scientifique " Mécanique des Fluides Numérique pour les Réacteurs ",** Paris La Défense Organisée par le GT " Réacteurs " de la SFGP	Organisé par Henri Delmas 47 participants
1er décembre 2004	**Journée scientifique : Membranes, eaux usées, boues : qu'apportent les procédés membranaires dans le traitement des eaux usées,la réutilisation et la production de boues ?** Pollutec, Lyon	Organisé par Philippe Aptel
8 décembre 2004	**Séminaire : Rétention de bio-contaminants par procédés membranaires,** Toulouse	Organisé par Pierre Aimar et Christel Causserand
16 décembre 2004	**Journée Scientifique " Agitation et Formulation ",** Gaillac Organisée par le GT " agitation et mélange " de la SFGP	Organisé par Catherine Xuereb 50 participants

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES

2005		
28 janvier 2005	**Journée Scientifique : Intensification des procédés et sécurité,** Toulouse Organisée par le GT " Sécurité " de la SFGP	Organisée par Nadine Gabas co-organisatrice avec Didier Gaston (INERIS) 27 participants
10 mars 2005	**Journée technique CRITT : Applications industrielles des fluides supercritiques,** Toulouse	Organisé par Jean-Stéphane Condoret 39 participants
6 avril 2005	**Journée Génie Industriel : ingénierie pédagogique et approches de Simulation,** Paris Rencontre de l'ECGI : Enseignants- Chercheurs en Génie Industrie	Organisé par J.M. Le Lann 35 participants
26 mai 2005	**Journée Scientifique : Microréacteurs et réacteurs microstructurés : Applications aux réactions chimiques,** St Fons Organisée par le GT " Réacteur " de la SFGP	Organisée par Henri Delmas 56 participants
2 et 3 juin 2005	**Journée Scientifique : Poudres et sécurité,** Nancy Organisée par le GT " Sécurité " de la SFGP	Organisée par Nadine Gabas co-organisatrice avec Didier Gaston (INERIS) et le GT " Solides Divisés "
29 août - 2 septembre 2005	**MS7 : 7th International Symposium on Molten Salts- Chemistry and Technology,** Toulouse	Organisé par Pierre Taxil 180 participants internationaux
7-8 septembre 2005	**Euro-Maghrebin Symposium On "Biological, Chemical Contaminants and Safety in Food",** Fes (Maroc) Collaboration Franco-Marocaine (Action Intégrée MA03/81)	Organisé par A. Lebrihi et A. Leszkowicz 200 participants
20 au 22 septembre 2005	**SFGP 2005 : 10ème congrès de la Société Française de Génie des Procédés,** Toulouse Congrès bisannuel de la Société Française de Génie des Procédés	Organisé par Joël Bertrand, Catherine Azzaro-Pantel, Michel Cabassud, Christine Frances, Martine Poux, Hélène Roux-de Balmann, Catherine Xuereb 600 participants francophones
3-5 octobre 2005	**7th EEE : 7th European Symposium on Electrochemical Engineering,** Toulouse Congrès de la Working Party " Electrochimie " de l'EFCE	Organisé par Théo Tzédakis 110 participants internationaux

ASSOCIATION DES DOCTORANTS ET DOCTEURS DU LABORATOIRE DE GENIE CHIMIQUE

Parmi son personnel, le laboratoire de Génie Chimique compte actuellement plus de 80 doctorants majoritairement répartis sur trois sites : Basso Cambo, Rangueil, ENSAT.
Début 2001, le LGC a décidé d'attribuer un budget annuel à ses jeunes chercheurs afin de les inciter à monter leurs propres projets. Un groupe de doctorants a alors saisi cette opportunité pour créer l'Alambic, Association des doctorants et docteurs du Laboratoire de Génie Chimique. C'est une association loi 1901 ouverte à tous les doctorants et jeunes docteurs du laboratoire. Son bureau est constitué d'une équipe élue pour un mandat d'un an non renouvelable et dont la mission première est de renforcer les échanges entre doctorants.
Après l'explosion de l'usine AZF en Septembre 2001 et la destruction de la partie du LGC située sur l'Ile du Ramier, les actions de l'association ont aidé à la reprise, dans les meilleures conditions, des thèses alors en cours. L'Alambic a ainsi participé au recensement des doctorants, à l'évaluation des dégâts matériels et à l'estimation du temps de travail perdu. La prolongation de certaines bourses ministérielles et industrielles a pu être obtenue en collaboration avec la direction du laboratoire.

Dès la rentrée 2002, la dynamique a repris peu à peu et l'association a travaillé à la réalisation des objectifs inscrits dans ses statuts : centraliser et diffuser les informations qui concernent les doctorants du LGC ; encourager et faciliter les échanges entre doctorants ; promouvoir l'image des doctorants dans les communautés scientifiques, industrielles et institutionnelles ; défendre les intérêts des doctorants, notamment en assurant leur représentation au sein des différents conseils dont ils sont tributaires.
Ainsi chaque année, l'Alambic se charge d'éditer un annuaire des doctorants du LGC et d'établir des cartes de visite pour tous. A chaque rentrée, elle organise une réunion d'accueil des nouveaux doctorants afin de leur expliquer le fonctionnement du laboratoire ainsi que le rôle de l'association et de leur permettre de se présenter au personnel du LGC qu'ils côtoieront durant leur trois années de thèse. En cours d'année, outre l'organisation de soirées favorisant les rencontres entre doctorants, post-doctorants et même stagiaires, l'association met en place des animations culturelles et sportives. On peut citer, pour exemples, une visite guidée de Toulouse menée en collaboration avec l'Office de Tourisme et la constitution d'équipes de football masculines et féminines.

Par ailleurs, l'Alambic a organisé des animations scientifiques ouvertes à tous. Sous la forme de conférences-débats, deux thèmes traitant de l'avenir des doctorants et jeunes docteurs ont été abordés : "Lien entre recherche publique et industrie : rôle du doctorant ?" (mars 2004) et "Les métiers du docteur dans la recherche publique" (avril 2005). De plus, souhaitant encourager l'intérêt des étudiants de deuxième cycle pour la recherche, l'Alambic a animé, en 2004, une information auprès des étudiants de l'Université Paul Sabatier et des élèves ingénieurs de l'ENSIACET sur les perspectives offertes par une thèse (formation par la recherche, thématiques de recherche traitées au LGC, ...). L'Alambic a également été sollicité pour ouvrir son champ d'action à toute la Communauté française de Génie des Procédé avec la prise en charge (par l'équipe 2004-2005) de l'organisation de l'Espace Jeunes du 10ème congrès de la Société Française de Génie des Procédés qui s'est tenu à Toulouse en Septembre 2005. Enfin, l'association s'est impliquée dans la sécurité au sein du laboratoire par la réalisation fin 2005 d'un fascicule d'accueil sécurité qui sera distribué à tout nouvel entrant au laboratoire et par la mise en place d'un accueil sécurité d'une demi journée dédié aux doctorants de première année.
Année après année, chaque nouvelle équipe vient renforcer le travail des précédentes et apporter de nouvelles idées pour améliorer l'intégration des jeunes chercheurs à la vie collective du laboratoire et au monde de la recherche en général.

MANAGEMENT ET LIEN SOCIAL

Il est d'usage de dire et d'entendre que le management d'un laboratoire est une tâche délicate, compliquée et qui prend en compte plusieurs paramètres d'importance variable dans le temps et variable aussi selon le responsable. Ce court paragraphe présente les règles du management du laboratoire de génie chimique, mises en place en fonction des objectifs assignés à la structure.

Les objectifs du laboratoire de génie chimique, ainsi qu'ils courent dans ce rapport d'activités peuvent être déclinés en plusieurs étapes, les unes conséquences des autres.

La première étape est la production de connaissances scientifiques dans le domaine scientifique confié au laboratoire, la seconde les actions de valorisation y afférantes ainsi que les actions de formation des doctorants, et ainsi de suite, pour couvrir toutes les tâches classiques d'un laboratoire.

Le premier regard du management concerne le management des personnes et c'est l'objet de ce paragraphe.

Le management des personnes consiste à donner à chacun l'identité professionnelle qu'il recherche, à lui permettre d'exercer le métier qu'il a choisi et qu'il a obtenu par conformité de ses souhaits et des postes publiés ou proposés dans l'unité.

La direction d'un laboratoire doit donc veiller au respect de la lettre de mission quadriennale et assurer à chacun les pleines possibilités d'exercice.

Pour ces raisons, diverses structures, lieu d'échanges, de progrès et d'avancées existent dans notre laboratoire.

Il existe autour du directeur et du directeur-adjoint statutaires un **Collège de Direction.** Ce collège est composé des cinq coordonnateurs scientifiques, de la secrétaire générale, du responsable des services techniques, du directeur-adjoint et du directeur. Il s'agit d'un collège et non pas d'un comité, car c'est un organe exécutif dont les décisions sont prises collégialement. En aucune façon, il ne s'agit d'un conseil. Ce collège se réunit toutes les trois semaines et décide de l'ensemble de la vie du laboratoire. Chaque réunion est suivi d'un compte-rendu diffusé le jour-même à l'ensemble du laboratoire et disponible sur l'intranet.

Le **Conseil de Laboratoire** se réunit tous les deux mois et a bien sûr les responsabilités d'un conseil d'unité classique. Chaque réunion est suivi d'un compte-rendu diffusé le jour-même à l'ensemble du laboratoire et disponible sur l'intranet.

Le **Conseil de la Recherche** se réunit tous les trois mois. Il rassemble tous les chercheurs chevronnés de l'unité, ainsi que tous ceux qui souhaitent apporter une contribution. Il a pour mission d'indiquer à la direction les pistes de recherche à explorer, les pistes à fermer, ainsi que les éléments majeurs de la vie scientifique de l'unité. Citons deux exemples : le Conseil de la Recherche a proposé l'ordre du jour du Comité d'Evaluation, le Conseil de la Recherche a étudié en détail (beaucoup plus en détail que ce qui est présenté dans ce rapport d'activité) l'analyse bibliométrique du laboratoire. Le Conseil de la Recherche est capable de mener une auto-évaluation de l'unité.

Le **Comité Hygiène et Sécurité** du Laboratoire se réunit tous les six mois et analyse tous les problèmes de sécurité de l'unité à la demande des trois ACMO et des personnalités extérieures. Sa réunion fait l'objet d'un procès-verbal.

Le **Service Technique du Laboratoire de Génie Chimique** se réunit toutes les semaines. Il vérifie les tâches collectives et individuelles, distribue les tâches à chacun en fonction des priorités scientifiques, sinon contractuelles.

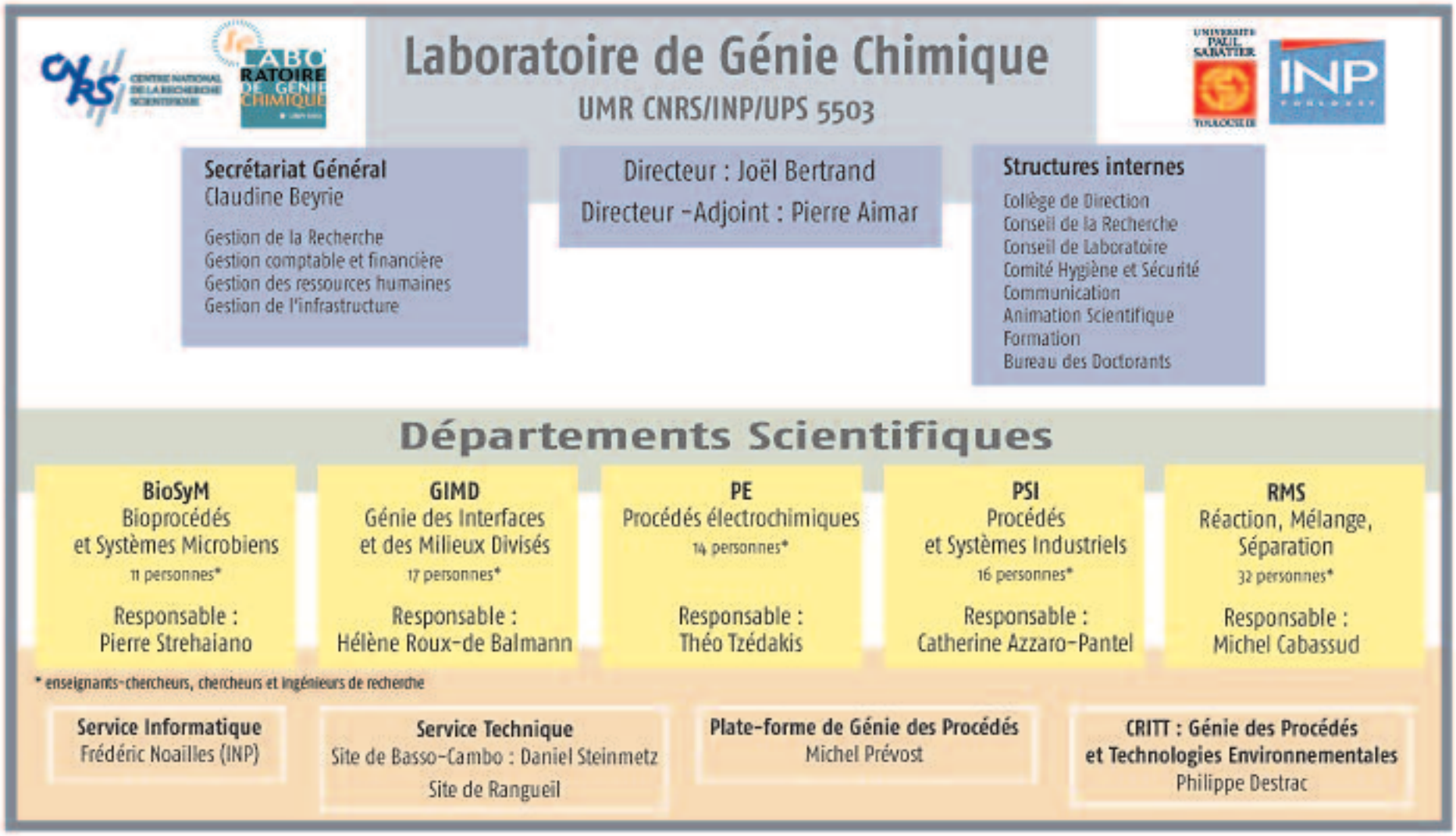
Nous avons créé récemment la C**ommission du Personnel du Laboratoire de Génie Chimique.** La mission de cette commission est l'examen des carrières de chacun, l'examen des possibilités de promotion, les stratégies éventuelles à mettre en œuvre et un suivi collectif. Cette mission peut paraître curieuse, hors du périmètre normal des responsabilités, mais nous avons décidé de pouvoir offrir à chacun dans le cadre du laboratoire une expression possible de son épanouissement et donc une vision raisonnable de promotions.

C'est ainsi que depuis quelques années, pour nos collègues IATOS et ITA, nous avons décidé d'explorer tous les champs des possibles (par construction de cascades par exemple, par choix de concours externes ou internes, par arbitrages entre sélections professionnelles ou concours). Un lecteur peu averti trouvera cette démarche curieuse, mais c'est ainsi que nous pensons renforcer le lien social et in fine, le sentiment d'appartenance.

Nous ne parlerons pas ici des changements de corps des enseignants-chercheurs ou des chercheurs, qui relèvent de concours externes organisés au sein des établissements. Le lecteur informé de la réalité française comprendra qu'il peut être productif de permettre des réussites au concours sur place. La mobilité à ce niveau n'est pas dans la tradition française. Cependant, elle doit sûrement être encouragée, mais un tel encouragement doit être quantitatif, et cela non plus n'est pas dans la tradition de notre pays.

De manière moins formelle, le management consiste en une écoute active de chacun et ce faisant en une construction graduelle de sa propre opinion. Le directeur d'un laboratoire de cette taille n'a plus d'opinion, ni d'idées. Son opinion, ses idées scientifiques ou générales, ne sont que l'intégrale des opinions ou des idées du collectif. En ce sens, son rôle est l'harmonisation, la mise en cohérence des projets scientifiques ou organisationnels de l'unité.

Il est important que chacun, doctorant, ITA, IATOS, chercheur ou enseignant-chercheur, délivre toute sa force de travail, sans réserve, avec conviction et enthousiasme. Le management, la construction quotidienne du lien social doivent travailler en ce sens.


Laboratoire de Génie Chimique
UMR CNRS/INP/UPS 5503
Secrétariat Général
Claudine Beyrie
Gestion de la Recherche
Gestion comptable et financière
Gestion des ressources humaines
Gestion de l'infrastructure
Directeur : Joël Bertrand
Directeur -Adjoint : Pierre Aimar
Structures internes
Collège de Direction
Conseil de la Recherche
Conseil de Laboratoire
Comité Hygiène et Sécurité
Communication
Animation Scientifique
Formation
Bureau des Doctorants
Départements Scientifiques
BioSyM
Bioprocédés
et Systèmes Microbiens
11 personnes*
Responsable :
Pierre Strehaiano
GIMD
Génie des Interfaces
et des Milieux Divisés
17 personnes*
Responsable :
Hélène Roux-de Balmann
PE
Procédés électrochimiques
14 personnes*
Responsable :
Théo Tzédakis
PSI
Procédés
et Systèmes Industriels
16 personnes*
Responsable :
Catherine Azzaro-Pantel
RMS
Réaction, Mélange,
Séparation
32 personnes*
Responsable :
Michel Cabassud
* enseignants-chercheurs, chercheurs et ingénieurs de recherche
Service Informatique
Frédéric Noailles (INP)
Service Technique
Site de Basso-Cambo : Daniel Steinmetz
Site de Rangueil
Plate-forme de Génie des Procédés
Michel Prévost
CRITT : Génie des Procédés
et Technologies Environnementales
Philippe Destrac

RESSOURCES FINANCIERES

Nous présentons deux documents sur les crédits du laboratoire :

- Crédits sur 4 ans de 2002 au 30 septembre 2005
- Crédits sur 4 ans de 2001 à 2004 avec détail des ressources

Le montant du budget consolidé s'élève en 2004 à 8,85 M€.
Il nous a paru intéressant bien que l'année 2005 ne soit par terminée d'examiner la situation budgétaire de nos crédits.

Au 30 septembre 2005, nous pouvons donc faire l'analyse suivante :

La masse globale des ressources propres représente plus de 63 % des crédits 2005.

Gestion CNRS

- Très grande progression de programmes européens dans le cadre du 6° PCRDT.
EA Biofilms (coordonnateur Alain Bergel), Impulse (cocontractant Catherine Xuereb),Nanomempro (cocontractant Pierre Aimar).
- Très forte implication dans les programmes : énergie, microfluidique, nouvelles méthologiques, Jeunes équipes, les ACI comme pollution non pollution, Practis, Prosetia, et Pnir Biofilms.
- Nous pouvons aussi citer les financements de la DRI pour le Cameroun, la Tunisie, et le P2R Chine.
- Le CPER financement CNRS et Région dans le cadre de la plate-forme Fermat.
- Soutien de Base

Gestion INP

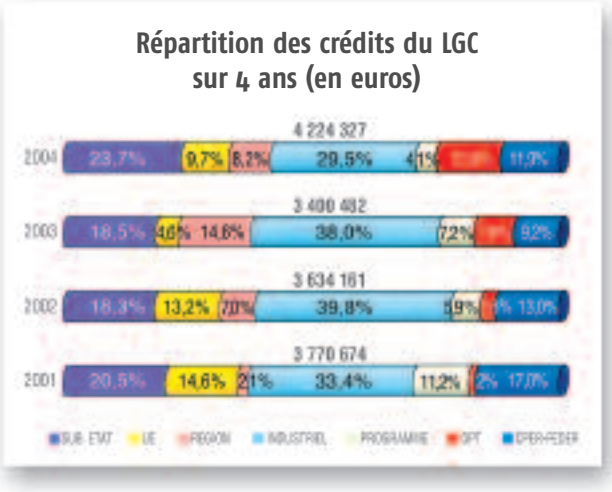
- Gestion de l'ensemble des contrats industriels par le biais du SAIC, plus 60% des crédits
- Crédits Feder dans le cadre du financement des équipements de la plate-forme Génie des Procédés
- Crédits BQR (51 000 €), financement des plates-formes Puce et Procédés Matériaux,
- Fermat pour la partie Ministère
- Crédits récurrents

Gestion UPS

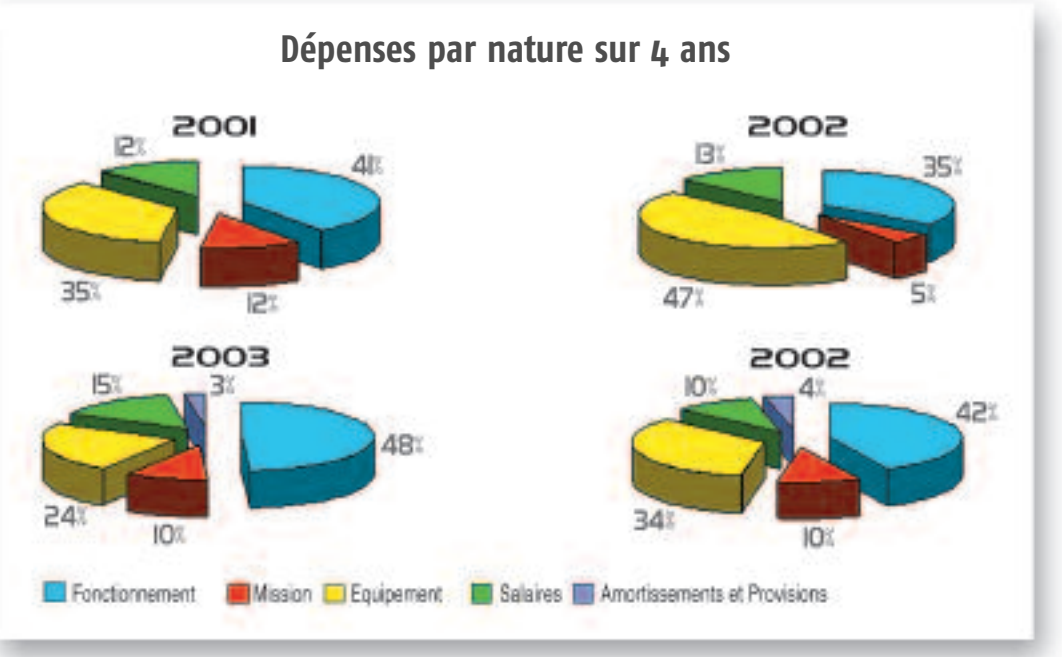
- Gestion des contrats industriels signés avant l'accord de partenariat entre le CNRS, l'UPS et l'INPT.
- Crédits récurrents
- Subvention région.

Notre budget 2005 sera en très forte progression car six dossiers ANR viennent d'être financés à savoir :

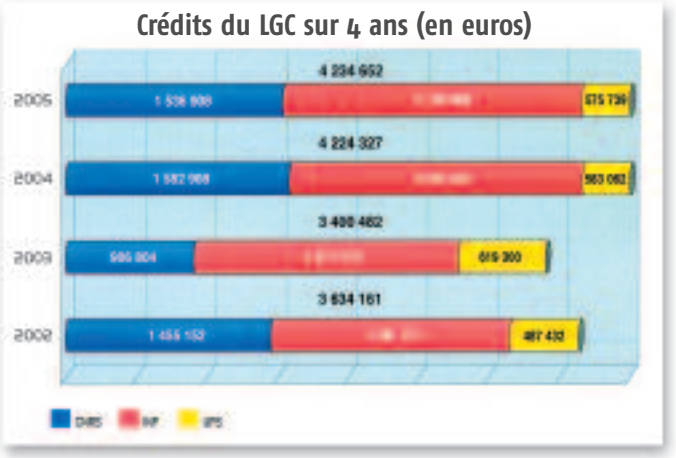
- TOXEAUBAM : Elimination d'une molécule anticancéreuse toxique dans l'eau par couplage bioréacteur à membrane et nanofiltration (Claire Albasi)
- PRONANOX : Procédés de synthèse et post-traitement de nanopoudres d'oxydes (Brigitte Caussat)
- BACTÉRIOPILES (Marie-Line Délia)
- Développement de Procédés de Fabrication de Membranes Nanostructurées et résistantes aux solvants (Jean-François Lahitte)
- EMP2M : Emulsions Microfluidiques Particules Polymères Microstructures (Laurent Prat)
- PHARE : Procédés Hybrides Adsorbtion Réaction pour le traitement des Efluents (Henri Delmas)



Dépenses par nature sur 4 ans



Crédits du LGC sur 4 ans (en euros)



RESSOURCES HUMAINES

I. Liste nominative des professeurs des universités et maîtres de conférence (et assimilés)

Nom	Prénom	Année de naissance	Corps grade	Section CNU	HDR	Date d'arrivée dans l'unité	Etablissement d'affectation	Code établissement
ALLIET-GAUBERT	Marion	1970	MCF	63		01/10/2000	INPT	0311381H
BARRETEAU	Denis	1949	MCFHC	62		01/01/1995	INPT	0311381H
BELAUD	Jean-Pierre	1971	MCF	62		01/09/2003	INPT	0311381H
BILLET	Anne-Marie	1967	MCF	62		01/01/1995	INPT	0311381H
BRANDAM	Cédric	1975	MCF	62		01/09/2002	INPT	0311381H
CANSELIER	Jean-Paul	1943	MCFHC	62	X	01/01/1997	INPT	0311381H
CASAMATTA	Gilbert	1949	PRCE2	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
CAUSSAT	Brigitte	1967	MCF	62	X	01/01/1997	INPT	0311381H
CLIMENT	Eric	1970	MCF	62		01/09/2003	INPT	0311381H
COGNET	Patrick	1968	MCF	62	X	01/09/1995	INPT	0311381H
CONDORET	Jean-Stéphane	1955	PR1	62	X	01/09/1996	INPT	0311381H
COUDERC	Jean-Pierre	1941	PRCE2	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
DELIA	Marie-Line	1964	MCF	62		01/01/1995	INPT	0311381H
DELMAS	Henri	1949	PRCE1	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
DOMENECH	Serge	1946	PRCE2	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
DUQUENNE	Philippe	1963	MCF	62		01/09/2000	INPT	0311381H
DUVERNEUIL	Patrick	1961	PR1	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
FLOQUET	Pascal	1961	PR2	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
GABAS	Nadine	1960	PR2	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
GOURDON	Christophe	1955	PR1	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
HAIT	Alain	1969	MCF	62		01/09/2000	INPT	0311381H
HEMATI	Mehrdji	1956	PR1	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
HETREUX	Gilles	1967	MCF	62		01/10/1999	INPT	0311381H
HUOR	Meng-Heng	1956	MCF	62		01/01/1997	INPT	0311381H
JOULIA	Xavier	1953	PR1	62	X	01/01/1997	INPT	0311381H
LACOSTE	Germain	1943	PRCE2	62	X	01/01/2000	INPT	0311381H
LE BOLAY	Nadine	1960	PR2	62	X	01/01/1997	INPT	0311381H
LEBRIHI	Ahmed	1959	PR1	68	X	01/10/1999	INPT	0311381H
LELANN	Jean-Marc	1956	PR2	62	X	01/09/2000	INPT	0311381H
LESZKOWICZ	Annie	1954	PR1	68	X	01/09/2003	INPT	0311381H
LUCCHESE	Yolande	1958	MCF	62	X	01/10/2002	INPT	0311381H
MATHIEU	Florence	1966	MCF	68	X	01/10/2000	INPT	0311381H
MEYER	Michel	1965	MCF	62	X	01/01/1997	INPT	0311381H
MEYER	Xuan	1968	MCF	62	X	01/01/1997	INPT	0311381H
NEGNY	Stéphane	1972	MCF	62		01/09/2002	INPT	0311381H
PANTEL-AZZARO	Catherine	1965	PR2	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
PIBOULEAU	Luc	1953	PR1	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
PRAT	Laurent	1971	MCF	62		01/10/2000	INPT	0311381H
PREVOST	Michel	1947	PR1	62	X	01/01/1997	INPT	0311381H

Nom	Prénom	Année de naissance	Corps grade	Section CNU	HDR	Date d'arrivée dans l'unité	Etablissement d'affectation	Code établissement
RATSIMBA	Berthe	1959	MCF	62		01/01/1997	INPT	0311381H
RICARD	Alain	1942	PR1	31	X	01/01/1997	INPT	0311381H
ROUZINEAU	David	1974	MCF	62		01/02/2005	INPT	0311381H
STREHAIANO	Pierre	1947	PR1	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
TAILLANDIER	Patricia	1963	MCF	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
TROMPETTE	Jean-Luc	1968	MCF	62		01/10/1999	INPT	0311381H
VERGNES	Hugues	1968	MCF	62		01/01/1995	INPT	0311381H
WILHELM	Anne-Marie	1956	PR1	62	X	01/01/1995	INPT	0311381H
ZARATE	Pascale	1964	MCF	62		01/10/2000	INPT	0311381H
BACCHIN	Patrice	1968	MCF	62		01/09/1996	UT3	0311384L
BASCOUL	Aimé	1953	PR2	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
BAUDOU-ANDRIANT..	Caroline	1969	MCF	62		01/02/2004	UT3	0311384L
CABASSUD	Michel	1959	PR2	62	X	16/10/1995	UT3	0311384L
CAUSSERAND	Christel	1966	MCF	62		01/01/1995	UT3	0311384L
CHAMELOT	Pierre	1967	MCF	62		01/01/1995	UT3	0311384L
COMTAT	Maurice	1943	PRCE2	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
COSTES	Jean	1947	PR1	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
DUMONT	Eric	1966	MCF	62		01/01/1999	UT3	0311384L
DURLIAT	Hélène	1948	PR2	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
GALIER	Sylvain	1971	MCF	62		01/08/2002	UT3	0311384L
GROENEN-SERRANO	Karine	1971	MCF	62		01/09/1999	UT3	0311384L
GROS	Pierre	1970	MCF	62		01/01/1997	UT3	0311384L
GUILET	Richard	1969	MCF	62		01/09/2004	UT3	0311384L
LAFAGE	Bernard	1958	MCF	62		01/01/1995	UT3	0311384L
LAHITTE	Jean-François	1974	MCF	62		01/02/2005	UT3	0311384L
LE SAUZE	Nathalie	1965	PR2	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
LOZAR	Jean	1950	MCFHC	62		01/01/1997	UT3	0311384L
MANERO	Marie-Hélène	1963	MCF	62	X	01/09/2005	UT3	0311384L
MASSOT	Laurent	1975	MCF	62		01/09/2003	UT3	0311384L
REMIGY	Christophe	1967	MCF	62		01/10/1998	UT3	0311384L
SAVALL	André	1943	PR1	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
TAXIL	Pierre	1944	PR1	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
TZEDAKIS	Théodore	1960	PR2	62	X	01/01/1995	UT3	0311384L
ROMULUS	Anne-Marie	1960	PRAG	62	X	01/01/1997	FERMAT	0311381H

Récapitulatif	Etablissement principal	Etablissements secondaires			Autres établissements	Total
		UPS	FERMAT			
Total EC	47	24	1			73
dont HDR	30	10	1			41

RESSOURCES HUMAINES

2 - Liste nominative des chercheurs statutaires

Nom	Prénom	Année de naissance	Organisme d'appartenance	Corps grade	Section ou comité d'évaluation de l'organisme	HDR	Date d'arrivée dans l'unité	Etablissement (lieu d'exercice)	Code établissement
ALBASI-GOURGUES	Claire	1965	CNRS	CR1	10	X	01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
BASSEGUY	Régine	1967	CNRS	CR1	10		01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
BERGEL	Alain	1959	CNRS	DR2	10	X	01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
BERTRAND	Joël	1952	CNRS	DR1	10	X	01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
BISCANS	Béatrice	1958	CNRS	DR2	10	X	01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
CANO	Joëlle	1975	CNRS	CR2	10		01/10/2003	LGC/INPT	0311381H
FRANCES	Christine	1965	CNRS	CR1	10	X	01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
GERBAUD	Vincent	1968	CNRS	CR1	10	X	01/10/1998	LGC/INPT	0311381H
JULCOUR	Carine	1973	CNRS	CR2	10		01/10/2001	LGC/INPT	0311381H
MASBERNAT	Olivier	1964	CNRS	CR1	10	X	01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
XUEREB	Catherine	1963	CNRS	DR2	10	X	01/01/1995	LGC/INPT	0311381H
AIMAR	Pierre	1957	CNRS	DR2	10	X	01/01/1995	LGC/UPS	0311384L
APTEL	Philippe	1941	CNRS	DREM	10	X	01/01/1995	LGC/UPS	0311384L
CLIFTON	Michaël	1948	CNRS	DR2	10	X	01/01/1995	LGC/UPS	0311384L
MASBERNAT	Martine	1964	CNRS	CR1	10	X	01/01/1995	LGC/UPS	0311384L
ROUX DE BALMANN	Hélène	1962	CNRS	DR2	10	X	01/01/1995	LGC/UPS	0311384L

Récapitulatif	Organismes				Total
	CNRS				
Total chercheurs étab. principal INPT	11				11
dont HDR	8				8
Total chercheurs étab. secondaire UPS	5				5
dont HDR	5				5
Total chercheurs étab. secondaire					
dont HDR					
Total chercheurs					16
dont HDR					13

3 - Liste nominative des autres personnels enseignants ou chercheurs accueillis à titre temporaire au cours des quatre dernières années

(1/10/2001 au 1/10/2005 environ) pour une durée d'au moins 6 mois

Nom Prénom	Année de naissance	Statut	HDR	Institution d'appartenance : MEN, organisme, secteur privé	Etablissement (lieu d'exercice)	Date d'arrivée dans l'unité	Date de départ de l'unité
Aguiar Ribeiro Filomena	1976	Post-doc		MEN	INPT	01/01/2005	31/12/2005
Alonso Lucia	1976	Post-doc		MEN	UT3	01/05/2002	31/10/2002
Alves Rita Maria	1959	Post-doc		MEN	INPT	01/11/2003	31/10/2004
Camy Séverine	1974	Post-doc		MEN	INPT	01/02/2002	31/05/2003
Cao Deming	1973	Post-doc		MEN	UT3	01/01/2002	31/10/2003
Dulon Sophie	1977	Post-doc		MEN	INPT	04/10/2004	04/12/2005
Escudero Javier	1976	Post-doc		MEN	INPT	01/09/2004	31/08/2005
Escudero Javier	1976	Post-doc		CNRS	INPT	01/10/2005	01/03/2006
Fascio Valia	1975	Post-doc		MEN	UT3	01/10/2003	31/06/2004
Jacques Christophe	1974	Post-doc		MEN	INPT	14/06/2004	31/12/2005
Massebeuf Silvère	1973	Post-doc		MEN	INPT	17/03/2003	16/05/2004
Morancais Aurore	1974	Post-doc		MEN	INPT	01/03/2003	31/03/2004
Reuge Nicolas	1972	Post-doc		MEN	INPT	02/02/2003	30/04/2004
Reuge Nicolas	1972	Post-doc		CNRS	INPT	03/10/2005	30/09/2006
Zhang Yang	1975	Post-doc		MEN	UT3	01/12/2004	31/11/2005

Total 15	dont HDR

RESSOURCES HUMAINES

4 - Liste nominative des ingénieurs, techniciens, administratifs, personnels ouvriers et de service (ITA/IATOS) titulaires

Nom	Prénom	Année de naissance	Corps grade	B.A.P.	Participation à l'unité	Institution d'appartenance	Etablissement d'affectation ou de rattachement	Code établissement
AURIOL	Martine	1962	IE2	B	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
BARALE	Jocelyne	1952	TCS	H	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
BEYRIE	Claudine	1946	IR2	H	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
ETCHEVERRY	Luc	1969	AI	C	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
FARHI	Lahcen	1960	AI	C	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
LABEYRIE	Jean-Luc	1963	AJT	H	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
LORENZON	Claudine	1962	AJT	H	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
MOUYSSET	Serge	1951	IE2	B	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
MULLER	Alain	1950	TCE	C	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
POLLINI	Lucien	1953	IE1C	C	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
ROUCH-REY	Christine	1965	AI	C	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
SCHETRITE	Sylvie	1953	IE2	C	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
STEINMETZ	Daniel	1951	IRHC	C	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
TENA	Emmanuelle	1971	AJT	H	100	CNRS	LGC/INPT	0311381H
CASADEMONT	Ernest	1949	IR1	C	100	CNRS	LGC/UPS	0311384L
DESCLAUX	Sandrine	1965	AI	C	100	CNRS	LGC/UPS	0311384L
LAFAILLE	Jean-Pierre	1947	IE1C	C	100	CNRS	LGC/UPS	0311384L
ROUCH	Jean-Christophe	1965	AI	C	100	CNRS	LGC/UPS	0311384L
BLANCO	Jean-François	1971	IR2	I	50	MEN	LGC/INPT	0311381H
CHATEUR	Nouredine	1976	T	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
DUNGLAS	Franck	1974	AGT	C	50	MEN	LGC/INPT	0311381H
FAURE	Claude	1944	TCS	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
FENOUILLET	Bernard	1944	IR	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
GALY	Bernard	1959	AGTP	G	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
LABADIE	Jacques	1954	AI	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
LABAT	Jean-Louis	1960	AJT	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
LAMPURE	Christine	1963	AGA	H	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
MAUNOURY	Alec	1965	AJT	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
MILLET	Gilles	1970	AST	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
MOLINIER	Michel	1957	AI	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
MONNA	Jean-Pierre	1947	IE2	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
NADALIN	Jean-Louis	1958	AST	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
PANADER	Eric	1975	AJT	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
PERN	Marie-Line	1972	T2B	C	50	MEN	LGC/INPT	0311381H
PHILIP	Alain	1963	AST	G	50	MEN	LGC/INPT	0311381H
PLOTTON	Eric	1974	T	E	100	MEN	LGC/INPT	0311381H

Nom	Prénom	Année de naissance	Corps grade	B.A.P.	Participation à l'unité	Institution d'appartenance	Etablissement d'affectation ou de rattachement	Code établissement
POLLINI	Georgette	1952	SARCN	H	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
POUX	Martine	1962	IGR1	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
RIBOUL	David	1970	T	C	50	MEN	LGC/INPT	0311381H
SAMAZAN	Marc	1964	IE2	C	100	MEN	LGC/INPT	0311381H
VERDIER	Jean-Pierre	1950	AI	C	50	MEN	LGC/INPT	0311381H
COLOMBIES	Patrick	1971	T	C	100	MEN	LGC/UPS	0311384L
LEMARIE	Florent	1970	T	C	100	MEN	LGC/UPS	0311384L
PICARD	Jacqueline	1942	AGT	H	100	MEN	LGC/UPS	0311384L
SERRANO	Michel	1949	AI	C	100	CNRS	LGC/BORDEAUX2	0331765P

Récapitulatif	MENESR						Organismes (préciser)
	Personnels affectés à l'établissement principal	Personnels affectés aux établissements secondaires (préciser)			Personnels affectés à d'autres établissements		
		UPS					
Total ITA/IATOS titulaires	37	7			1		

5 - Liste nominative des ingénieurs, techniciens, administratifs, personnels ouvriers et de service contractuels* (secteurs privé et public)

Nom	Prénom	Année de naissance	Corps grade	B.A.P.	Participation à l'unité	Institution d'appartenance		Type de contrat et durée	Etablissement d'affectation ou de rattachement
COGHE	Ignace	1957	AI	C	100	INPT	LGC/INPT	3 ans x 2	0311381H
DE SOLAN	Marie-Line	1959	AI	C	100	INPT	LGC/INPT	3 ans x 2	0311381H
MOLE	Richard	1958	AI	C	100	INPT	LGC/INPT	3 ans x 2	0311381H
PONTIER	Alain	1962	AI	C	100	INPT	LGC/INPT	3 ans x 2	0311381H
TAIAR	Rafik	1983	AGT	C	100	CRITT	LGC/INPT	1 an	0311381H

Récapitulatif		MENESR				Organismes (préciser)			Secteur privé
	Personnels rattachés à l'établissement principal	Personnels rattachés aux établissements secondaires (préciser)			Personnels rattachés à d'autres établissements				
Total	5								

RESSOURCES HUMAINES

6 - Liste des doctorants encadrés dans l'unité de recherche au 01/10/2005

Nom Prénom	Année de naissance	Directeur(s) de thèse	Date de début de thèse	Mode de financement	DEA ou master d'origine	ED de rattachement	Etablissement d'inscription
Abbana Bennani Mouna	1981	C.Gourdon	28/09/2004	A		TDyFEP	INPT
Abbas Micheline	1980	O.Masbernat	01/10/2004	FSE CNRS		TDyFEP	INPT
Aguilar Corona Alicia	1977	O.Masbernat	01/09/2004	ETR		TDyFEP	INPT
Aguilar Lasserre Alberto	1972	C.Azzaro	07/10/2002	ETR		TDyFEP	INPT
Akins Huberson	1973	P. Strehaiano	11/10/2004	ETR		TDyFEP	INPT
Alloula Karim	1965	J.M. Lelann	01/10/2003	AUCUN		TDyFEP	INPT
Ammar Mohamed	1979	M.Cabassud	01/10/2003	ETR		TDyFEP	INPT
Atoui Ali	1977	A.Lebrihi	07/11/2003	ETR		TDyFEP	INPT
Baez Senties Oscar	1970	C.Azzaro	01/10/2003	ETR		TDyFEP	INPT
Barbin Pascal	1980	P.Taillandier	01/12/2003	BDI CNRS		TDyFEP	INPT
Barthe Laurie	1981	M.Hémati	01/10/2004	BDI CNRS		TDyFEP	INPT
Baussaron Loïc	1979	A.M.Wilhelm	30/09/2002	CIFRE		TDyFEP	INPT
Bejaoui Hend	1977	A.Lebrihi	01/09/2002	ETR		TDyFEP	INPT
Belassaoui Bouchra	1978	X.Joulia	02/10/2002	A		TDyFEP	INPT
Belkadi Abdelkrim	1980	V.Gerbaud	01/10/2005	A		TDyFEP	INPT
Benaissa Wassila	1979	N.Gabas	13/11/2003	INDUSTR		TDyFEP	INPT
Benali Mohammed	1978	M.Hémati	01/09/2003	ETR		TDyFEP	INPT
Bonet Jordi	1976	M.Meyer	01/09/2001	ETR		TDyFEP	INPT
Bonnet Aurélie	1979	C.Gourdon	01/10/2004	INDUSTR		TDyFEP	INPT
Bouras Noureddine	1977	A.Lebrihi	01/09/2001	ETR		TDyFEP	INPT
Brehelin Mathias	1979	M.Meyer	01/10/2003	A		TDyFEP	INPT
Cadoret Loïc	1981	B.Caussat	01/10/2004	A		TDyFEP	INPT
Canadas Delphine	1978	A.Leszkowicz	01/09/2003	CIFRE		TDyFEP	INPT
Castro Martinez Claudia	1978	P.Strehaiano	18/09/2003	ETR		TDyFEP	INPT
Chanfreau Sébastien	1976	J.S.Condoret	01/10/2001	A		TDyFEP	INPT
Conan Christophe	1978	O.Masbernat	20/05/2002	CIFRE		TDyFEP	INPT
Cortes Robles Guillermo	1972	J.M. Lelann	01/09/2002	ETR		TDyFEP	INPT
Couerbe Gregory	1981	M. Poux	01/10/2004	A		TDyFEP	INPT
Dao HuyPhong	1978	A.Lebrihi	01/11/2001	ETR		TDyFEP	INPT
DeSilvaMunoz Léonardo	1977	A.Bergel	01/10/2004	ETR		TDyFEP	INPT
Di Micelli Nathalie	1984	P.Cognet	01/10/2005	CDD CNRS		TDyFEP	INPT
Dumas Claire	1981	A.Bergel	01/10/2004	A		TDyFEP	INPT
HernandesRojas Maria	1970	C.Albasi	16/09/2002	ETR		TDyFEP	INPT
Houcine Sofiane	1978	S.Domenech	01/10/2003	A		TDyFEP	INPT
IbasetaGarrido Nelson	1980	B.Biscans	01/09/204	BDI CNRS		TDyFEP	INPT
Jaouen Lionel	1978	B.Caussat	01/03/2003	CIFRE		TDyFEP	INPT
Jawich Dalal	1974	P.Strehaiano	03/05/2004	ETR		TDyFEP	INPT
Khodja Mohamed	1968	J.P.Canselier	01/04/2004	INDUSTR		TDyFEP	INPT
Klamklang Songsak	1975	P.Duverneuil	30/09/2003	ETR		TDyFEP	INPT
Korichi Mourad	1963	P.Floquet	01/10/2004	ETR		TDyFEP	INPT
Ladeveze Fabien	1977	C.Xuereb	01/10/2002	A		TDyFEP	INPT
Laugier Frédéric	1977	A.M.Wilhelm	02/10/2003	A		TDyFEP	INPT
Maniero Riccardo	1976	E.Climent	25/01/2005	ETR		TDyFEP	INPT
ManoleCreanga Carmen	1975	H.Delmas	01/03/2004	ETR		TDyFEP	INPT

Nom Prénom	Année de naissance	Directeur(s) de thèse	Date de début de thèse	Mode de financement	DEA ou master d'origine	ED de rattachement	Etablissement d'inscription
Marc Sébastien	1975	C.Albasi	01/11/2003	AUCUN		TDyFEP	INPT
MarquisFaucet Virginie	1977	A.Leszkowicz	02/02/2002	ARC		TDyFEP	INPT
Morin Nathalie	1981	M.Hémati	01/10/2005	CIFRE		TDyFEP	INPT
Nehme Nancy	1981	P.Taillandier	20/01/2005	ETR		TDyFEP	INPT
Nozahic Françoise	1980	X.Joulia	01/10/2004	ADEME		TDyFEP	INPT
Olivier Nelly	1981	J.M. Lelann	01/12/2004	A		TDyFEP	INPT
Parot Sandrine	1980	M.L.Délia	13/09/2004	CDD CNRS		TDyFEP	INPT
Petit Geoffrey	1979	M.Hémati	21/10/2002	CIFRE		TDyFEP	INPT
Philippe Régis	1979	B.Caussat	01/01/2004	CIFRE		TDyFEP	INPT
Picard Florian	1979	X.Joulia	01/11/2003	CIFRE		TDyFEP	INPT
Plais Cécile	1980	M.Hémati	15/09/2004	CIFRE		TDyFEP	INPT
Poirot Rachel	1979	C.Gourdon	01/10/2004	BDI CNRS		TDyFEP	INPT
Ponsich Antonin	1979	C.Azzaro	01/09/2002	BDI CNRS		TDyFEP	INPT
Puel Olivier	1967	A.Lebrihi	18/11/2003	AUCUN		TDyFEP	INPT
Rodriguez MariaPatricia	1977	J.Bertrand	01/10/2003	ETR		TDyFEP	INPT
Roudet Matthieu	1980	A.M.Billet	01/10/2005	A		TDyFEP	INPT
Sarrazin Flavie	1981	G.Casamatta	01/11/2003	CIFRE		TDyFEP	INPT
Seynie Abdoulaye	1973	N.LeBolay	01/10/2005	ETR		TDyFEP	INPT
Steger Csaba	1978	X.Joulia	16/01/2003	CROUS		TDyFEP	INPT
Strub Caroline	1981	A.Lebrihi-X.Meyer	01/10/2005	A		TDyFEP	INPT
Suwanprasop Somsalay	1977	H.Delmas	30/09/2005	ETR		TDyFEP	INPT
Tabkhi Firooz	1976	L.Pibouleau	23/05/2004	ETR		TDyFEP	INPT
Torre Jean-Philippe	1977	C.Xuereb	20/09/2004	CIFRE		TDyFEP	INPT
Tourbin Mallorie	1979	C.Frances	06/10/2003	A		TDyFEP	INPT
Tozlovanu Mariana	1981	A.Leszkowicz	01/01/2005	AUF		TDyFEP	INPT
Van Kaam Romuald	1979	C.Albasi	01/10/2002	A		TDyFEP	INPT
Varga Viktoria	1963	V.Gerbaud	01/10/2003	A		TDyFEP	INPT
Völkel Norbert	1981	C.Xuereb	01/10/2005	CDD CNRS		TDyFEP	INPT
Bessiere Yolaine	1978	P.Bacchin	01/10/2002	INDUSTR		TDyFEP	UPS
Delebecque Nathalie	1978	C.Causserand	01/10/2004	A		TDyFEP	UPS
DiHang Désiré	1973	P.Aimar	04/12/2004	ETR		TDyFEP	UPS
Gibilaro Mathieu	1982	P.Taxil	01/10/2005	A		TDyFEP	UPS
GomaBilongo Tchicaya	1975	M.Clifton	01/11/2002	ETR		TDyFEP	UPS
Guitton Coline	1979	M.Comtat	01/10/2002	A		TDyFEP	UPS
Kane Cheikhou	1973	T.Tzédakis	01/10/2002	A		TDyFEP	UPS
NdiKoungou Sylvère	1974	P.Aimar	01/11/2003	ETR		TDyFEP	UPS
Nourry Christophe	1981	P.Chamelot	01/11/2004	FSE CNRS		TDyFEP	UPS
Piaud Benjamin	1980	M.Clifton	01/10/2003	A		TDyFEP	UPS
QuezadaJimenez Marie	1975	J.C.Remigy	15/11/2002	ETR		TDyFEP	UPS
Ruffien Audrey	1978	P.Gros	01/10/2002	INDUSTR		TDyFEP	UPS
Singlande Elodie	1980	H.RouxdeBalman	01/10/2003	A		TDyFEP	UPS
Weiss Elsa	1978	A.Savall	01/10/2003	A		TDyFEP	UPS
Total	86						

1. BILAN
2001- 2004

2. EVALUATION
DES BESOINS

3. DEMANDES
DE FORMATION

4. ACTIONS
DE FORMATION
CONTINUE

I. BILAN des formations suivies lors du dernier Plan de Formation d'Unité

Pendant cette période, il y a eu 78 sur 198 personnes du LGC (soit 40%) qui ont bénéficié de 180 formations proposées par le CNRS. Sur un total de 132 permanents, 61 ont suivi des formations (soit 46%).

En ce qui concerne les étudiants, il faut souligner que leurs demandes ne sont pas toujours prises en compte. Cependant, le CNRS fait des efforts conséquents pour satisfaire le plus possible les demandes provenant d'étudiants.

Ces formations ont été suivis par :

Chercheurs CNRS : 7 sur 16 soit (44%)
Enseignants-Chercheurs : 14 sur 68 soit (20%)
ITA CNRS : 19 sur 19 soit (100%)
Personnel Technique et Administratif INP/UPS : 21 sur 29 soit (72%)
Etudiants : 17 sur 66 soit (26%)

Ces chiffres montrent que le personnel technique est celui qui suit le plus de formations.

Rappelons que ce ne sont que des chiffres CNRS. Les formations proposées par l'INP Toulouse ne sont pas prises en compte de même que les formations proposées par UPS qui ne s'adressent qu'au personnel technique de l'UPS.

Nature des formations CNRS suivies

Langues (essentiellement Anglais) : 16
Informatique, logiciels (bureautique, calcul...) : 40
Communication, outils de gestion, RH ... : 9
Administration : 24
Techniques instrumentales et analyse : 6
Hygiène et sécurité : 48
Formations spécifiques : 45

Formation effectuée hors CNRS

Il s'agit d'une formation longue de 2 ans financée à 50% par le laboratoire et à 50% par l'INPT. Elle a concerné un agent de l'INPT (Etienne Prevot, ancien cuisinier de l'ENSIGC) pour suivre au Greta de Toulouse une formation en alternance l'amenant au bac Pro MMSA. A l'issue de cette formation, cet agent a obtenu un bac professionnel.
Notons aussi que nous avons permis à 2 assistants ingénieurs embauchés en CDD (ex. employés d'AZF) de valoriser leurs acquis professionnels par un DUT pour Richard Mole et par une licence professionnelle pour Alain Pontier.

2. EVALUATION DES BESOINS

Questionnaire

Le questionnaire suivant a été transmis à tout le personnel du Laboratoire en juin dernier. Le taux de retour a été de 10 % soit 21 réponses (Chercheurs : 3 ; Enseignants-chercheurs : 10 ; ATER : 1 ; Doctorants : 2 ; ITA-IATOS : 5).

QUESTION	OUI	NON	Pas de réponse
Exercez vous une activité annexe ?	8	11	2
Vos activités ont-elles évoluées au cours des 4 ans écoulés ?	9	9	3
Avez-vous suivi des formations pour ces évolutions ?	6	9	6
Avez-vous suivi des formations au cours des 4 ans écoulés ?	15	4	2
Avez-vous fait des demandes qui n'ont pas abouti ?	3	16	2
Dans votre situation actuelle, avez-vous besoin de formations ?	13	4	4
Souhaiteriez-vous des changements dans votre situation actuelle ?	4	10	7
Besoins pour accompagner les évolutions ou les changements	13	5	3
Souhaiteriez-vous participer en tant que formateur à des actions de formation ?	6	10	5

Durée, lieu et période des formations

La durée de la formation exprimée dans la majorité des réponses est de maximum 3 jours consécutifs.
Le lieu importe peu pour la majorité. Cependant, certains préfèrent que les formations se déroulent dans un lieu facile d'accès (transports), le mieux étant Toulouse.
La période importe peu pour la majorité mais les enseignants-chercheurs préfèrent le 2ème trimestre de l'année civile.

Propositions de formations

La majorité du personnel se dit prêt à participer à des actions nouvelles de formations.

3. DEMANDES DE FORMATION pour le nouveau PFU

Besoins généraux récurrents

Langues : ANGLAIS
- jBases
- Expression orale
- Communication
- Rédaction de publications

Informatique :
- Bureautique
- Utilisation de macros
- Langages de programmation
- Programmation C, C++
- Recherche et gestion de données bibliographiques informatisées
- Utilisation de logiciels, codes de calcul, solveurs avec interface graphique

Communication:
- Management
- Conduite de réunions
- Relations humaines
- Outils pédagogiques
- Outils de communication

Administration :
- Gestion d'équipes et de projets
- Administration de la recherche

Technique :
- Formations sur des techniques spécifiques
- Formation sur l'utilisation de nouveau matériel
- Formations concernant la sécurité

Hygiène et sécurité :
- Secourisme
- Risques

Besoins exprimés dans les questionnaires

Demandes individuelles :
- Traitement d'images (2)
- Analyse par chromatographie liquide (HPLC, GPC) (2)
- UML / C++
- Biblio informatique, End Note (2)
- LaTex
- Brevet secouriste du travail
- Anglais
- Langage C pour micro contrôleurs
- Autocad 3D
- Mise en œuvre de matières plastiques
- Conduite de réunions
- Aspects techniques du travail de chercheur

Demandes émanentes d'un responsable d'équipe

- Formation pour des raisons de sécurité des techniciens travaillant pour cette équipe sur :
  - ARI
  - Techniques du vide
  - Gaz spéciaux

Demandes formulées par le responsable de l'équipe technique

- Techniques granulométriques des dispersions concentrées (spectroscopie acoustique, diffusion multiple de la lumière, microscopie confocale et autres),

- Mesures des concentrations et granulométrie des nano poudres (nano-sizer, impacteur basse pression à détection électrique),

- Conception, dessin et montage des pilotes,

- Compétences métrologiques et analytiques au sens large du terme,

  - Sélection et choix de méthodes potentielles appropriées à un problème quelconque,
  - Choix du bon capteur analytique dans une méthode donnée,
  - Choix de solvants, de traceurs, de fluides à utiliser pour des techniques de tous types,
  - Mise au point avant intervention et exploitation en routine par un doctorant,
  - Interprétation en cas de difficultés particulières

- Acquisition, traitement des données et pilotage informatique de manipulations (électrochimie, microscopie, fermentations,...),
- Installation et maintenance d'appareillages spécifiques : fermentations, analytique,
- Appui ponctuel pour certaines opérations de recherche,
- Maintenance et amélioration du site web,
- Méthodes optiques, PIV et micro PIV.

Besoins spécifiques importants pour la recherche au LGC

Les métrologies sophistiquées comme les techniques Laser et PIV (Particle Image Velocimetry) nécessitent des connaissances pointues en optique et en traitement de l'image. Christine Rouch et Marc Samazan recevront une formation spécifique en 2005 et 2006 dispensée en 5 cycles d'une semaine à l'Institut Supérieur d'Optique d'Orsay. Le coût s'élève à 10 000 euros hors frais de déplacement et de séjour. Il s'agit d'un besoin lourd du laboratoire.

Un projet d'un cycle de formation aux aspects techniques du génie chimique organisé par l'IUT de Génie Chimique de Toulouse pour 9 techniciens (ITA et ITARF) a été émis. Il s'agit d'un cycle de 5 jours, dont 3 jours de théorie et 2 jours de Travux Pratiques. Le coût est de 5000 € prévu en 2005 et a été reporté en 2006 pour absence de financement.

Notons aussi des demandes de financement individualisées formulées par le responsable de l'équipe technique pour former les personnels techniques sur des taches très spécifiques et en rapport avec leur métier. On peut citer en exemple les cycles de formation organisés par la société Eureka-industrie sur les pompes pannes diagnostic et maintenance, la mécanique et réparation de machines tournantes, les pompes à vide etc.
Ces stages ne sont pas dispensés par le CNRS et le Ministère. Ils viennent en complément et sont très importants.

Remarque : Pour 4 assistants ingénieurs en CDD (ex employés d'AZF), le Laboratoire a pris l'engagement de les aider à compléter leur formation pour les préparer à des concours de la fonction publique au terme des 6 ans de contrat. Il faudra renforcer ces formations dans les deux années à venir.

Autre demande

Il a été également demandé par un ITAOS un bilan de compétences pour envisager un projet personnel et des formations nécessaires à la réalisation de son projet.

4. ACTIONS de FORMATION CONTINUE proposées par le Laboratoire

Le Laboratoire de Génie Chimique participe à un certain nombre de stages proposés par la Formation Continue de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

Initiation au Génie Chimique :

- Energétique – Bilan
- Dynamique des fluides – Thermique I
- Distillation – Thermique II
- Absorption – Extraction liquide – liquide
- Cinétique – Réacteurs
- Thermique III – Séchage – Adsorption – Filtration
- Fluidisation – Evaluation économique – Projet

Opérations unitaires :

- Extraction liquide – liquide (règles de dimensionnement, prédiction d'équilibre, Choix d'appareillages)
- Cristallisation industrielle (Elaboration de cristaux à propriétés contrôlées, mécanismes, bilan de population)
- Agitation mélange (agitation industrielle, mélange industriel, équipementiers)
- Propriétés, manutention, traitement physique des solides divisés, mélanges, fluidisation, transport pneumatique, broyage

Analyse fonctionnelle – " Flowsheeting " :

- Simulation des procédés – " flowsheeting " (simulation, modélisation, équilibres entre phases, conception)
- Simulation dynamique (procédés discontinus)

Chimie et applications :

- Les ultra-sons en procédés (cavitation,applications physiques et chimiques,équipements)
- Agents tensioactifs et procédés (agents tensioactifs, séparations,opérations unitaires, procédés)
- Emulsification : principes et procédés (préparation, caractérisation et stabilité des émulsions)

HYGIENE ET SECURITE

L'hygiène et la sécurité sont au coeur de notre recherche. Développer des procédés plus propres et plus sûrs, être partie prenante de la fondation de l'ICSI, tout cela ne peut se concevoir sans porter également la plus grande attention aux problèmes internes de sécurité. Cependant, nous sommes conscients de la permanence de la tâche : chaque année nous amène un renouvellement de notre population et de nouveaux pilotes de recherche à construire et à sécuriser. Maintenir la permanence d'une démarche de formation, éviter la routine et les habitudes : telle doit être la préoccupation permanente des personnels en poste. De façon permanente, les problèmes de sécurité sont évoqués au cours des réunions hebdomadaires du service technique du laboratoire.

Structure

Conformément à ses obligations, le laboratoire a constitué un comité hygiène et sécurité (CHS) qui se réunit deux fois par an. Le CHS est composé des représentants du comité de direction, du conseil de laboratoire, des ACMO - agents chargés de la mise en œuvre de la sécurité-, des ingénieurs sécurités et des médecins de prévention des trois tutelles.
Trois ACMO, Serge Mouysset et Lucien Pollini pour le site de Basso-Cambo et Jean Christophe Rouch pour le site de Rangueil-UPS se répartissent le travail, principalement par zone géographique. Ils ont une fonction essentielle : vérifier avant chaque mise en chantier d'une nouvelle installation que les problèmes de sécurité ont été pris en compte par les porteurs de projets. Aucune autorisation de mise en fabrication n'est actuellement accordée sans leur visa. Ils participent également aux CHS de l'ENSIACET.
Quatorze collègues sont sauveteurs secouristes du travail en titre ; parmi eux majoritairement des personnels techniques et peu de chercheurs et d'enseignants.
Nous travaillons aussi à la sensibilisation des acteurs. Tout nouvel arrivant est accueilli par l'un des ACMO qui lui présente un livret de sécurité. L'association des doctorants du laboratoire, l'Alambic, a pris l'initiative de rédiger un cahier de sécurité en direction des doctorants. Deux exercices d'évacuation sont organisés par an, ainsi qu'un stage de formation à l'utilisation des extincteurs. Afin de sensibiliser les scientifiques, une journée d'information a été organisée le 6 février 2004 sur leurs droits et responsabilités.

Composition du Comité d'Hygiène et de Sécurité

Membres de droit		Représentants du personnel
Joël BERTRAND	Directeur LGC	Michel CABASSUD
Patrick GARNIER	Directeur ENSIACET	Théodore TZEDAKIS
Pierre AIMAR	Directeur-Adjoint LGC	Jean-Marc LELANN
Claudine BEYRIE	Secrétaire Générale LGC	
Daniel STEINMETZ	Responsable du Service Technique Appui Recherche Formation	Patrice BACCHIN Claire ALBASI Gilles HETREUX
Véronique VAQUIE	Médecin – CNRS	
Jean FERNANDEZ	Médecin - INP	Franck DUNGLAS
Valérie ROUSTAN	Ingénieur Hygiène et Sécurité CNRS DR14	Lahcen FARHI Christine ROUCH
Alex REYNES	Ingénieur Hygiène et Sécurité INP	Jean-Christophe ROUCH Sandrine DESCLAUX
Lucien POLLINI	ACMO – CNRS	
Serge MOUYSSET	ACMO – CNRS	Rachel POIROT
Christian ESTRADE	ACMO – ENSIACET	Wassila BENAISSA
Jean-Pierre VERDIER		Elsa WEISS

Formation

Un effort continu et important est fait en matière de formation

1. habilitation conduite des engins de levage,
2. habilitation électrique Bo et B1, 21 personnels techniques ont suivi cette formation
3. Habilitation ARI, appareil de respiration individuel
4. Codap , cette formation au risque lié à la pression et à la réglementation y afférent a été suivie par l'ensemble du service technique du LGC
5. recyclage SST,
6. formation risques chimique,
7. participation aux réseaux des mécaniciens et des électroniciens du CNRS
8. formation spécifiques des animateurs sécurité (ADHYS).

Sécurisation de l'infrastructure sur le site de Basso-Cambo

A part les bureaux, l'ensemble du site de Basso-Cambo est couvert par un réseau sprinkler, et certaines zones sont couvertes par un système de détection d'incendie. L'ensemble du site est sous contrôle d'accès et équipé de détection d'intrusion. En dehors des horaires de travail, ce système à de télé-surveillance (intrusion, alarmes incendie et déclenchement des sprinklers) est relié à une société extérieure. L'accès au laboratoire est contrôlé par carte magnétique, interdit en dehors des horaires de travail sauf demande expresse dans le cadre de travail en horaire décalé, mis en place en accord avec l'ingénieur hygiène et sécurité de l'INPT.
Toutes les installations à risque sont sous sécurité spécifique, il en est ainsi du laboratoire de CVD et de celui de chimie fine, mais également de toute installation susceptible de dégager des gaz toxiques (CO, Hydrogène, CO_2) où des capteurs de détection spécifiques ont été installés.
L'ensemble du laboratoire trie ses déchets solides et liquides : déchets banaux (bois, papier), déchets banaux souillés, produits informatiques, verrerie souillée et emballages de produits chimiques, déchets solides et liquides.
Le stockage des produits chimiques est réduit au minimum par une procédure d'achat à flux tendu, et par l'obligation de garder les quantités minimales à l'intérieur des locaux.
Lors de l'accueil des nouveaux entrants, une distribution des plaquettes de sécurité a lieu ainsi que la mise à disposition des EPI (équipement de protection individuel).

L'Apave vérifie périodiquement les machines outils, les alarmes incendies, les moyens de lutte contre l'incendie, les installations électrique du bâtiment et les pilotes.
En accord avec la médecine préventive, une étude spécifique du poste de travail est effectuée chaque fois qu'un produit est classé CMR, composés cancérigènes et mutagènes ; pour la période 2003 à juillet 2005, deux postes de travail ont été installés pour les manipulations impliquant de tels produits.
Une signalétique spécifique est en place dans les zones où il existe un risque lié à l'utilisation des lasers et de la RMN.
De plus, un suivi médical historique amiante et une prise de sang des personnels exposés à des produits dangereux sont régulièrement effectués.

Evaluation de risques professionnels

La sécurité a toujours été prise en compte au LGC. Une démarche formalisée a été mise œuvre à partir de 2004. La procédure nationale d'évaluation des risques professionnels a été mise en œuvre sur l'ensemble des postes de travail du site de Basso-Cambo.
Ceci a consisté à établir un document sur les risques de chaque poste de travail, le pilote et l'opérateur, et à formaliser l'ensemble des procédures. Cette démarche implique une procédure d'amélioration de la protection.
Chaque pilote est assisté par un technicien affecté ; les zones d'intervention sont découpées pour être sous la responsabilité de cadres techniques.
Enfin, aucun montage n'est mis en œuvre sans étude de sécurité préalable.

Bilan des incidents

On a recensé sur les quatres dernières années deux alertes au feux, dont une en zone bio après l'incendie d'une poubelle et une due à un faux contact dans un néon d'éclairage et un accident sur machine outil impliquant un mois d'arrêt maladie.

MISSIONS PARTICULIERES

AIMAR Pierre	- Secrétaire de la Société Européenne des Membranes - Directeur de la Structure Fédérative FERMaT - Président du Conseil Scientifique de l'IFTS - Expert auprès de l'AFSSA - Membre du bureau du Club Français des Membranes
APTEL Philippe	- Membre de l'éditorial board of the Journal of Membrane Science et de Chemical Engineering and Processing
AZZARO-PANTEL Catherine	- Responsable du Département Procédés et Systèmes Industriels
BASCOUL Aimé	- Chef du Département de Génie Chimique de l'IUT Paul Sabatier - Président de la Commission de Choix de l'IUT, spécialité " Chimie Génie Chimique " - Président de l'assemblée des chefs de départements Génie Chimique des IUT
BASSEGUY Régine	- Responsable du département Procédés Electrochimiques et Matériaux (jusqu'en juin 2005)
BERGEL Alain	- Coordonnateur du STREP "EA-Biofilms", du programme "New and emerging science and technology" (NEST) du 6ème PCRDT - Directeur du pôle de recherche national à implication régionale PNIR-Biofilms - Directeur du groupement de recherche européen plus "Surface of materials in living environments" (GdRE+ SMILE) - Secrétaire de la working party "Electrochemical engineering" de la EFCE
BERTRAND Joël	- Directeur du Laboratoire de Génie Chimique - Membre du Comité National de la Recherche Scientifique, Président de la Section 10, membre du bureau de la Conférence des Présidents du Comité National - Président de la Working Party " Mixing " de la Fédération Européenne de Génie Chimique - Consultant Total - Administrateur de la SFGP - Editeur International de Chemical Engineering Research and Design
BISCANS Béatrice	- Chargée de mission à temps partiel auprès du Directeur Général, pour le département sciences pour l'ingénieur (SPI) du CNRS. Mission : Relations internationales - Membre du Comité Editorial de la Lettre du SPI - Membre de la commission paritaire du CNRS, des Directeurs de Recherche CNRS - Délégué Français du Groupe de Travail " Cristallisation " de la Fédération Européenne de Génie Chimique - Membre de l'éditorial "advisory board" du Journal Chemical Engineering Science
CABASSUD Michel	- Responsable du Département Réaction, Mélange, Séparation (depuis janvier 2005)
CASAMATTA Gilbert	- Président de l'INP - Membre de la Working Party Education de la Fédération Européenne de Génie Chimique - Vice-Président de la SFGP - International Advisor for the Journal of Chemical Engineering of Japan
CAUSSAT Brigitte	- Membre du comité directeur du GDR CNRS TEMPPS (Techniques d'Elaboration de Matériaux en couches minces : Procédés Propriétés Structures)
COSTES Jean	- Chef du Département Adjoint Génie Chimique de l'IUT - Secrétaire de la Commission pédagogique nationale des IUT Génie Chimique - Responsable de la filière Chimie Industrielle du CNAM à Toulouse
DELMAS Henri	- Responsable du Département " Génie Chimique " de l'ENSIACET - Membre Français du board d'European Soc. of Sonochemistry - Animateur du GT Réacteurs de la Société Française de Génie des Procédés
DOMENECH Serge	- Directeur de l'Ecole Doctorale Sciences des Procédés (2001-2005) - Président de la Commission de Spécialistes de l'INPT, 62ème Section (depuis 2001)
FLOQUET Pascal	- Vice Président du groupe de travail " Informatique et Procédés " conjoint SFGP (Société Française de Génie des Procédés) et SCI (Société de Chimie Industrielle)
GABAS Nadine	- Animatrice du GT Sécurité de la Société Française de Génie des Procédés

GOURDON Christophe	- Président de la 62ème Section du CNU - Membre du CA et suppléant du Bureau de la Conférence Permanente du CNU (CPCNU) - Chargé de mission pour la " coordination du contrat quadriennal 2007-2010 " de l'INPT - Consultant de l'Unité Mixte Rhodia-CNRS LOF Bordeaux - Membre du Conseil Scientifique du GREThI/CEA - Membre du CEVU de l'INPT
JOULIA Xavier	- Responsable du département Génie des Procédés et Informatique (GPI) de l'ENSIACET - Membre du Conseil de la recherche de l'ENSTA - Représentant français à la "CAPE (Computer Aided Process Engineering) Working Party" de la Fédération Européenne de Génie Chimique - Membre de l' "Editorial Advisory Board " de Computers & Chemical Engineering et du Korean Journal of Chemical Engineering - Consultant auprès du Ministère de l'Education du Brésil pour l'évaluation des meilleures formations Masters et Doctorales des universités brésiliennes
LACOSTE Germain	- Professeur de l'INPT en détachement à la direction de l'ENI DE Tarbes
LE SAUZE Nathalie	- Membre du CNU - Chef de département-adjoint de l'IUT Génie Chimique (Direction des Etudes)
MEIRELES Martine	- Membre du comité exécutif du groupe " Particle separation " de l'International Water Association
POLLINI Lucien	- Membre du CHS de l'INPT-ENSIACET
POUX Martine	- Co-Responsable pour l'INPT du master M2 Professionnel "Procédés de production, qualité et contrôle des produits de santé " - Secrétaire Scientifique de la Working Party on Mixing de la Fédération Européenne de Génie Chimique (EFCE)
PREVOST Michel	- Représentant français du Groupe " Absorption-Distillation-Extraction " de la Fédération Européenne de Génie Chimique - Responsable Plate Forme en Génie des Procédés du LGC - Membre de la Cellule Qualité - CEQUAL - CNRS (Paris)
ROUX-de BALMANN Hélène	- Responsable du Département Génie des Interfaces et des Milieux Divisés - Directeur Adjoint de l'Ecole Doctorale TYFEP - Responsable UPS du Master Recherche "Génie des procédés environnement" - Responsable du GIS PROSETIA CNRS/INRA - Membre de la Commission Scientifique Spécialisée de l'INRA " Science des Aliments, Microbiologie Sécurité Alimentaire et Génie des Procédés "
SAVALL André	- Responsable du Master Mention "Mécanique, Energétique, Procédés" - Directeur de la Fédération Procédés-Matériaux. - Président du Groupe Electrochimie de la SFC - Président du Secrétariat Permanent pour la Prévention des Problèmes Industriels de l'Agglomération toulousaine (le SPPPI est un organisme de concertation)
STEINMETZ Daniel	- Président de la Commission Pédagogique Nationale des IUT Matériaux - Membre du Conseil d'Administration du CNRS - Membre du CCRRDT Midi-Pyrénées (Comité Consultatif Régional de Recherche et développement Technologique)
STREHAIANO Pierre	- Responsable du département Bioprocédés et Systèmes Microbiens (BioSyM) (depuis juillet 2005) - Vice-Président de l'INP
TAXIL Pierre	- Directeur de l'UFR PCA de l'UPS
TZEDAKIS Théo	- Responsable du Master Professionnel " Procédés Physicochimiques " - Président de la commission des spécialistes de la 62ème section de l'UPS - Responsable du Département Procédés Electrochimiques (depuis juillet 2005)
WILHELM Anne-Marie	- Responsable des Relations Internationales de l'INPT- ENSIACET - Responsable du département Réaction, Mélange, Séparation (jusqu'en décembre 2004)
XUEREB Catherine	- Mise à disposition à temps partiel comme chargée de mission à la DRRT (Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie) jusqu'en 2004 - Coordinatrice de la recherche à l'ENSIACET - Animatrice du GT Agitation et Mélange de la Société Française de Génie des Procédés

Coordination de l'ouvrage : Martine Poux (LGC)
Création, réalisation : Métropoles Médias, Toulouse, 05 61 62 15 00
Octobre 2005