

PROCEDES DE SEPARATION AVEC TRANSFERT – REACTION – INGENIERIE DE L'ENVIRONNEMENT

Coordonnateur : Yves ANDRES

Effectifs au 1/01/2008

- Yves ANDRES	Maître-Assistant, HdR, EMN
- Arnaud DELEBARRE (20%)	Professeur, EMN
- Eric DUMONT	MCF, Université de Nantes
- Marie-José DURAND (60%)	MCF, Université de Nantes
- Claire GERENTE	Chargée de recherches EMN (09/2007)
- Valérie HEQUET	Maître-Assistante, EMN
- Laurence LE COQ	Maître-Assistante, HdR, EMN
- Pascaline PRE	Maître-Assistante, EMN
- Cécile RAILLARD	MCF, Université de Nantes
- Albert SUBRENAT	Maître-Assistant, HdR, EMN
- Gérald THOUAND (40%)	Professeur, Université de Nantes
- Florent CHAZARENC	Maître-Assistant, EMN

S'appuyant sur les concepts et les méthodologies du génie des procédés, les travaux de recherche développés dans cet axe se focalisent sur l'étude, le développement, le dimensionnement et la modélisation de procédés mettant en jeu des interactions solide - fluide dans les milieux complexes (multi-phases, multi-composés, composés toxiques ou faible concentration). Les procédés de séparation avec transfert - réaction sont plus particulièrement étudiés, en considérant une démarche intégrée d'amélioration de procédés existants ou de développement de procédés innovants. Ces travaux s'appuient sur l'étude des mécanismes mis en jeu aux différentes échelles du procédé et font intervenir des compétences dans les domaines des matériaux, des écoulements en milieux poreux, des transferts gaz - liquide - solide ainsi que des réactions chimiques ou biologiques.

Cette démarche s'appuie sur trois approches privilégiées :

- L'étude fine des mécanismes de transport, de transfert et de transformation aux interfaces solide - fluide dans des milieux hyperdilués et multi-composés.
- La conception, la réalisation, la mise en oeuvre et l'optimisation de produits et de procédés de traitement et d'épuration d'eau ou d'air. L'intensification et le couplage de procédés sont particulièrement développés.
- La modélisation et la simulation des processus et des procédés dans un but de dimensionnement et de contrôle opératoires des installations.

Les applications pratiques de ces études se situent dans le domaine des procédés de traitement de l'eau, de l'air ou de la valorisation matière des déchets. Une attention

particulière est portée au traitement des composés toxiques faiblement concentrés (molécules ou particules microbiennes ou nanométrique).

A partir de la problématique scientifique définie précédemment, des actions de recherche et développement sont déclinées : les matériaux adsorbants, l'écoulement dans les milieux poreux, le transfert fluide - solide ou le couplage transfert - réaction chimique ou biologique.

Les matériaux poreux. Production de matériaux carbonés poreux fonctionnalisés à partir de déchets ou résidus (boue de station d'épuration) - Optimisation des conditions opératoires de carbonisation et d'activation des précurseurs. Les produits carbonés obtenus par traitement thermique de carbonisation et activation sont caractérisés physiquement et chimiquement. Puis ces charbons actifs sont mis en oeuvre dans des procédés de traitements d'eau ou d'air afin d'en définir les utilisations potentielles. Cette approche fait actuellement partie d'un projet Européen (Removals) sur les boues de station d'épuration.

Les médias fibreux sont couramment employés en traitement d'air pour l'élimination de composés organiques volatiles par adsorption sur fibres de carbone activé ou pour la filtration particulaire. Les recherches portent sur l'élaboration et la caractérisation de médias fibreux complexes permettant le traitement combiné de particules et de COV. Un intérêt particulier est porté à l'influence de la composition et du diamètre des fibres constituant les médias étudiés, sur les performances de capture de particules microniques et nanométriques de différentes natures ou de bioaérosols.

Les procédés d'adsorption et de désorption. Différentes études de procédés mettant en jeu ces fibres de charbons actifs sont menées à la fois en traitement des composés organiques volatils (COV) des émissions gazeuses, des molécules odorantes ou en micro-polluants présents dans l'eau. Les travaux suivent des approches expérimentales et de modélisations numériques.

Ainsi, des nouveaux réacteurs sont conçus, mis en oeuvre et optimisés pour traiter les COV par adsorption sur tissus de carbone activé et désorption par chauffage par effet Joule. Ces mêmes adsorbants sont étudiés pour le traitement des molécules odorantes. Lors de l'adsorption des COV dans des filtres de charbon actif en grains, la réaction est exothermique. Des modèles déterministes sont développés intégrant les énergies d'interaction solides - COV, les bilans massiques et thermiques, les équations de transfert et les caractéristiques des charbons poreux.

Dans le cadre du traitement de l'eau, l'adsorption des micropolluants est classiquement utilisée industriellement. La durée de vie des filtres est difficile à prévoir et les modèles déterministes ont eu peu de succès. Une nouvelle approche par modèle stochastique utilisant des réseaux de neurones a été développée au laboratoire. Des bases de données sont actuellement réalisées sur des unités pilotes. Des structures des réseaux de neurones liés avec des modèles déterministes sont actuellement étudiées.

Les métaux lourds et les métalloïdes présents dans l'eau montrent une toxicité reconnue. Des matériaux adsorbants faibles coûts tels que des algues brunes ou des pulpes de betterave, sous produits de l'industrie agroalimentaire, sont utilisés pour la détoxification de l'eau. La mise en oeuvre de couplage adsorption - séparation membranaire sur unité pilote permet de définir les conditions opératoires optimales et les applications potentielles.

Les procédés avec transfert - réaction chimique et biologique. Les biofiltres industriels sont de grandes dimensions du fait de réaction biologique lente. Afin d'accélérer les processus, des formulations de garnissage servant de support bactérien sont développées. De plus, des travaux sont en cours sur le traitement biologique de molécules volatiles faiblement solubles et sur la régénération biologique du solvant utilisé lors d'un procédé de transfert gaz - liquide.

Des études ont été lancées sur la mise en oeuvre des procédés dans lesquels le transfert sur un matériau poreux carboné s'accompagne d'une réaction d'oxydation. On utilise aussi des verres dopés pour la photocatalyse. Ces matériaux sont employés pour oxyder dans des conditions douces de températures et de pressions, les composés organiques ou les molécules odorantes présents dans l'eau et dans l'air.

Enfin, des recherches effectuées en partenariat avec des industriels concernent la séparation et la capture de CO₂ notamment en développant la combustion de gaz (nature, de synthèse, et biogaz) par oxycombustion en boucle circulante à lits fluidisés interconnectés. Un pilote a été conçu afin de pouvoir évaluer le vieillissement des matériaux porteurs de l'oxygène nécessaire à la combustion.

Production Scientifique 2007

HDR soutenue (1)

Subrenat A. "Les matériaux au coeur des procédés : Les tissus de carbone activé utilisés en traitement d'air". Habilitation à Diriger les Recherches de l'Université de Nantes - Génie des Procédés (Section 62) - Soutenue le 13 décembre 2007.

Thèses soutenues (4)

Chabaud S., "Influence du biofilm sur les performances des systèmes de traitement par infiltration dans le sol : application à l'assainissement non collectif". Thèse de l'Université de Nantes. Soutenue à l'École des Mines de Nantes le 31 mai 2007. Directeurs de thèse : Y. Andrès et P. Le Cloirec, co-encadrant : A. Lakel.

Giraud-Guiheneuf L., "Méthodologie d'évaluation d'une filière de traitement biologique et chimique de déchets issus d'une pollution marine accidentelle par des hydrocarbure pétroliers". Thèse de l'Université de Nantes. Soutenue à l'École des Mines de Nantes le 21 mars 2007. Directeur de thèse : Y. Andrès, co-encadrant : M.J. Durant.

Rochereau A., "Traitement combiné particules / composés organiques volatils sur médias fibreux à base de carbone activé". Thèse de l'Université de Nantes. Soutenue à l'École des Mines de Nantes le 13 décembre 2007. Directeur de thèse : P. Le Cloirec, co-encadrants : L. Le Coq et A. Subrenat.

Stavrakakis Ch., "Analyse et évolution de perturbateurs endocriniens en épuration et traitement des eaux". Thèse de l'Université de Nantes. Soutenue à l'École des Mines de Nantes le 22 novembre 2007. Directeur de thèse : P. Le Cloirec, co-encadrants : C. Faur, V. Héquet, R. Colin.

Thèses en cours (9)

Affi M., "Optimisation des écoulements, des transferts de matière dans un mini-système de détection en continu de polluants par des bactéries bioluminescentes". Directeur de thèse : G. Thouand, co-encadrant : C. Solliec. Université de Nantes.

Ahmadyasbchin S., "Etude de la biosorption d'ions métalliques (Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, Ce) sur des algues brunes (*fucus* sp.)". Directeurs de thèse : P. Le Cloirec et Y. Andrès, co-encadrante : C. Gérente. Université de Nantes.

Bonnevie-Perrier J.C., "Contribution à l'étude des aérosols microbiens dans les filtres des systèmes de ventilation". Directeurs de thèse : L. Le Coq, Y. Andrès, P. Le Cloirec. Université de Nantes.

Hourlier F., "Recyclage par procédés membranaires des eaux grises en vue de leur réutilisation à l'intérieur des bâtiments". Directeurs de thèse : C. Faur, P. Le Cloirec, co-encadrante : C. Gérente. Université de Nantes.

Jayabalan T., "Stabilité thermique des charbons actifs". Directeur de thèse : P. Le Cloirec, co-encadrantes : V. Héquet, P. Pré. Université de Nantes.

Maudhuit A., "Purification de l'air intérieur - Elimination des micro-polluants par procédés photocatalytiques". Directeur de thèse : L. Le Coq, co-encadrants : V. Héquet C. Raillard, J Sablayrolles. Université de Nantes.

Pellerano M., "Capture de CO₂ dans des gaz par modulation de pression" Directeur de thèse : A. Delebarre, co-encadrante : P. Pré. Université de Nantes.

Ricaurte-Ortega D., "Adsorption des siloxanes dans différentes matrices gazeuses". Directeurs de thèse : A. Subrenat et P. Le Cloirec. Université de Nantes.

Torres-Pérez J., "Effet de la matière organique dissoute sur les performances d'élimination de l'arsenic par adsorption". Directeur de thèse : Y. Andrès, co-encadrante : C. Gérente. Université de Nantes.

Post-Doc en cours (6)

Gao B., "Corrélations entre les descripteurs moléculaires et les constantes d'équilibre d'adsorption et cinétique d'oxydation photocatalytique de familles de COV".

Guihéneuf L., "Utilisation de charbons actifs élaborés à partir de boues de station d'épuration, en traitement d'eau : caractérisation physico-chimiques des adsorbants, adsorption d'ions métalliques et de molécules organiques (phénol, colorants), mise en œuvre d'un procédé à lit fixe". Travail réalisé dans le cadre du programme européen Removals (septembre 2007-septembre 2008).

Hoteit A., "Tests de matériaux pour combustion en boucle chimique dans le cadre du projet "Agence Nationale de la Recherche" CLC-MAT".

Munish Kumar C., "Combustion de biogaz et de syngaz en boucle chimique : modélisation et expérimentation".

Paraschiv M. "Optimisation de la valorisation énergétique de déchets agroalimentaires par pyrolyse / gazéification. Etude des mécanismes formation des goudrons".

Selvaraj R., "Fabrication de charbons actifs à partir de boues de station d'épuration : mise au point des conditions optimales de carbonisation et d'activation des matériaux" Travail réalisé dans le cadre du programme européen Removals (février 2007-janvier 2008).

MASTER soutenus ()

PUBLICATIONS 2007

Publications internationales avec comité de lecture ()

Delebarre A., Andres Y., Pellerano M., Pero P., Garcia-Munzer D. (2007), Biofiltration of volatil organic compounds by a fluidized bed of sawdust, International Journal of Chemical Reactor Engineering, 5, A22.

Alappat B., Delebarre A., Pré P., Chandel M.K., Delvinquier V., Garabetian J.C., Poux D., Gonzalez J., Marchand B. (2007), Thermal remediation of oil polluted sand from black tides : The fluidized bed option, Chemical Engineering Journal, 129, n°5, pp. 143-151.

Gérente C., Lee V.K.C., Le Cloirec P., McKay G. (2007), Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption – mechanisms and models review, Critical Reviews of Environmental Science and Technology, Volume 37, pp 41-127.

Stavrakakis C., Raillard C., Héquet V., Le Cloirec P. (2007), TiO₂-Based Materials for Toluene Photocatalytic Oxidation: Water Vapor Influence, J. Ads. Oxid. Technol., 10, 1.

Raillard C., Héquet V., Le Cloirec P. (2007), Influence of Aqueous Solubility of Various VOCs on Their Photocatalytic Degradation, J. Ads. Oxid. Technol, 10, 1

Andrès, Y., Giraud, L., Gérente, C. and Le Cloirec, P. (2007), Antibacterial effects of chitosan powder: mechanisms of action, Environmental Technology, 28, 1357-1363

Autres publications ()

Andrès Y., Faur-Brasquet C., Gérente C., Le Cloirec P. (2007), Elimination des ions métalliques et des métalloïdes dans l'eau. Les Techniques de l'Ingénieur, W 8 000.

Gérente C., Andrès Y., McKay G. et Le Cloirec P. (2007), Utilisation de chitosane pour la fixation de l'arsenic (V) : application au traitements d'eaux. Récents progrès en Génie des procédés, 96, ISBN 2-910239-70-5, Ed. SFGP, Paris, France.

Livres, chapitres de livre ou collections (7)

Le Cloirec P., Andrès Y., Faur C., Gérente C. (2007) La biosorption dans le traitement des eaux chargées en ions métalliques. In *Traitement et épuration des eaux industrielles polluées*, G. Crini et P.M. Badot coordonnateurs, Presse Universitaire de Franche Comté, Besançon, France, ISBN 978-2-84867-197-0

Andrès Y., Faur-Brasquet C., Gérente C., Le Cloirec P., (2007), Elimination des ions métalliques et des métalloïdes dans l'eau. *Les Techniques de l'Ingénieur Environnement*, W 8 000 – 1-14

Chabaud S., Andrès Y., Lake A., Le Cloirec P., (2007), Développement du biofilm et comportement épuratoire de systèmes d'infiltration en assainissement autonome. *Récents Progrès en Génie des Procédés – Numéro 96 – 2007* ISBN 2-910239-70-5, Ed. SFGP, Paris, France

Gérente C., Andrès Y., Mc Kay G., Le Cloirec P., Utilisation de chitosane pour la fixation de l'arsenic (V) : application au traitement d'eaux. *Récents Progrès en Génie des Procédés – Numéro 96 – 2007* ISBN 2-910239-70-5, Ed. SFGP, Paris, France

Bonnevie-Perrier J.C., Le Coq L., Andrès Y., Le Cloirec P., Microbial growth onto filter media used in air treatment devices. *Récents Progrès en Génie des Procédés – Numéro 96 – 2007* ISBN 2-910239-70-5, Ed. SFGP, Paris, France

Le Cloirec P., Andrès Y., Gérente C., Faur-Brasquet C., (2007) La biosorption dans le traitement des eaux chargées en ions métalliques, In *Traitement et épuration des eaux industrielles polluées*, G. Crini et P.M. Badot coordonnateurs, Presse Universitaire de Franche Comté, Besançon, France, ISBN 978-2-84867-197-0

Dumont E., Andrès Y. (2007), Microbial solvent regeneration in biotreatment of air contaminated by styrene In/ " *Biotechniques for Air Pollution Control*" C. Kennes & M. C. Veiga Editors, Universidade da Coruña, Servizo de Publications. Spain. *Cursos_Congresos_Simposios*, n°92, ISBN 978-84-9749-258_4

Communications - Congrès internationaux ()

Chandel M.K., Hoteit A., Delebarre A., Clean power generation from syngas and biogas using chemical looping combustion: simulation and comparison, *Third European Combustion Meeting ECM 2007*, Chania, Crete, Greece, April 11-13, 2007, Paper N° 12-13.

Hoteit A., Schonnenbeck C., Gilot P., Delebarre A., CO₂ capture by calcium cycles in circulating fluidized bed combustion: the effect of lime hydration, *Third European Combustion Meeting ECM 2007*, Chania, Crete, Greece, April 11-13, 2007, Paper N° 19-13.

Baricot M., Dastgheib S.A., Fortuny A., Stüber F., Bengoa C., Fabregat A., Le Coq L., Font J., Activated Carbon Used as Catalyst for the Catalytic Wet Air Oxidation of Phenol, *Carbon 2007*, Seattle, July 15-20, 2007.

Hourlier F., Le Coq L., Faur-Brasquet C., Le Cloirec P., Production of carbonaceous adsorbent material from used tyres: optimization of the activation process using design of experiments methodology, *1st Green Process Engineering Congress*, Toulouse, April 24-26, 2007.

Rochereau A., Le Coq L., Subrenat A., Le Cloirec P., Performance of commercial and prototype fibrous media measured with different test aerosols, Filtech Conference. Wiesbaden, Germany, February 27-March 1, 2007.

Gérente, C. Andrès Y., McKay G. and Le Cloirec P., Removal of As(V) onto chitosan: from sorption mechanism explanation to dynamic water treatment process. 9th International Conference on Fundamentals of Adsorption, Giardini Naxos, Sicily-Italy, May 20-25, 2007.

Dumont E., Andrès Y., Microbial solvent regeneration in biotreatment of air contaminated by styrene, International Congress on Biotechniques for Air Pollution Control, La Coruña, Spain October 3-5, 2007.

Jayabalan T., Pré P., Héquet V., Le Cloirec P., Influence of material properties on the oxidation and ignition characteristics of activated carbons, the 9th international conference on fundamentals of adsorption - FOA9", Giardini Naxos, Sicile, Italie, 20-25 May 2007.

Jayabalan T., Pré P., Héquet V., Le Cloirec P., Rouzaud J-N., Material properties influencing the reactivity of activated carbons : thermal analysis, HRTEM study and statistical modelling, CARBON 2007, Seattle, WA, USA July 15-20, 2007.

Stavrakakis C., Colin R., Héquet V., Faur C., Le Cloirec P., Analyses et devenir de perturbateurs endocriniens en épuration d'eaux usées domestiques, Les xénobiotiques dans les eaux naturelles et dans le cycle des eaux destinées à la consommation humaine, Congrès ASEES, Luxembourg, 15 et 16 Novembre 2007.

Jayabalan T., Pré P., Héquet V., Le Cloirec P., Rouzaud J-N., Analysis of structural properties of activated carbons by HRTEM study and their influence on the oxidation and ignition characteristics [Carbon for Energy Storage And Environment Protection](#). CESEP-2007, Krakow, Poland, 2-6 September 2007.

Gérente C., Andrès Y., McKay G., Le Cloirec P. Removal of As(V) onto chitosan: from sorption mechanism explanation to dynamic water treatment process. 9th International Conference on Fundamentals of Adsorption, Giardini Naxos, Sicily, Italy, May 20-25, 2007.

Kwok K.C.M., Lee V.K.C., Gérente C., McKay G. The adsorption of arsenate on chitosan. 9th International Conference on Fundamentals of Adsorption, Giardini Naxos, Sicily, Italy, May 20-25, 2007.

Baricot M., Dastgheib S.A., Fortuny A., Fabregat A., Stüber F., Bengoa C., Le Coq L., Font J., Influence of textural properties and iron content on the activated carbon performance for catalytic wet air oxidation of phenol, 6th European Congress of Chemical Engineering, Copenhagen, September 16-20, 2007.

Congrès français ()

Rochereau A., Bénesse M., Le Coq L., Subrenat A., Mauret E., Le Cloirec P., Influence of process operating parameters of fibrous media on end-use properties, 11^{ème} Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Saint Etienne, France, 9-11 octobre 2007.

Gatumel C., Baillon F., Maurice J.J., Dodds J.A., Guigon P., Delebarre A., Schwartzentruber J., Chamayou A., Berthiaux H., Calvet R., Espitalier F., Rodier E., De Ryck A., Saleh K., Loubignac E., Développement d'une formation en Sciences et Technologies des Poudres utilisant les TICE, 11^{ème} Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Saint Etienne, France, 9-11 octobre 2007.

Chabaud S., Andrès Y., Lakel A., Le Cloirec P., Suivi du développement d'un biofilm dans des sols utilisés en assainissement autonome : effet sur l'élimination des pathogènes et sur les performances épuratoires, 7^{ème} Congrès de la Société Française de Microbiologie, Nantes, 30 mai-1^{er} juin 2007.

Amhady-Asbchin, S. Andres Y., Le Cloirec P., Biosorption du cuivre par une algue brune (*Fucus serratus*) : Caractérisation et études des mécanismes, 7^{ème} Congrès de la Société Française de Microbiologie, Nantes, 30 mai-1^{er} juin 2007, (Communication orale courte)

Gérente C., Andrès Y., Mc Kay G., Le Cloirec P., Utilisation de chitosane pour la fixation de l'arsenic (V) : application au traitement d'eaux, 11^{ème} Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Saint Etienne, France, 9-11 octobre 2007.

Chabaud S., Andrès Y., Lakel A., Le Cloirec P., Développement du biofilm et comportement épuratoire de systèmes d'infiltration en assainissement autonome. 11^{ème} Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Saint Etienne, France, 9-11 octobre 2007.

Bonnevie-Perrier J.C., Le-coq L.; Andrès Y.; Le-cloirec P., Méthode indirecte de quantification des microorganismes présents sur un media fibreux filtrant, 1^{er} journées filtration des aérosols, LSGC, Nancy, 7 et 8 juin 2007.

Bonnevie-Perrier J.C., Le-coq L.; Andrès Y.; Le-cloirec P., Microbial growth onto filter media used in air treatment devices, 11^e congrès français de Génie des Procédés, SFGP, Saint-étienne, 9-11 octobre 2007.

Stavarakakis C., Colin R., Héquet V., Faur C., Le Cloirec P., Contribution à l'évaluation de risques émergents : analyse et évolution de perturbateurs endocriniens en épuration et traitement des eaux, Journée des Laboratoires Publics de l'Ouest, Josselin, France, 25 avril 2007.

Conférences invitées ()

Le Coq L., Elaboration de matériaux carbonés poreux fonctionnalisés à partir de déchets. Application au traitement d'effluents aqueux par adsorption, Ecole thématique Génie des Procédés – Génie de la Séparation, GEPEA – Université de Nantes. 26 juin 2007.

Le Coq L., Traitement combiné COV / particules sur filtre à air. Application aux systèmes HVAC, Ecole thématique Génie des Procédés – Génie de la Séparation, GEPEA – Université de Nantes. 26 juin 2007.

Brevets - Plis Soleau ()

Rapports de recherche ()