

NUMÉRO
62

JANVIER
2011

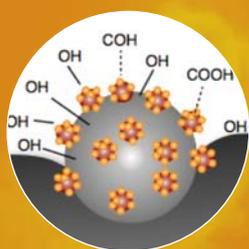
cnrs
dépasser les frontières

MICROSCOOP

LE JOURNAL DU

CNRS

EN DÉLÉGATION CENTRE POITOU-CHARENTES



> ENERGIE

Quoi de neuf en micropiles
à combustible ?



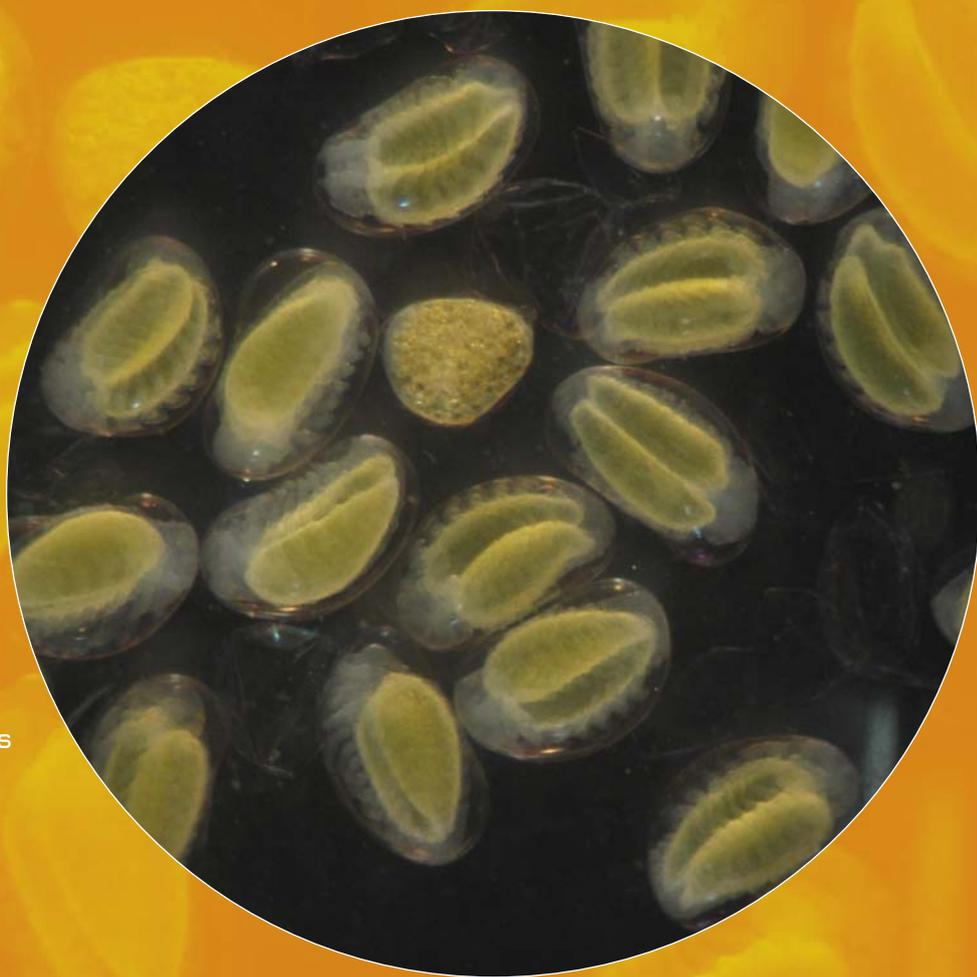
> ENVIRONNEMENT

Les vasières littorales charentaises



> HISTOIRE

HANSI ou la construction
d'une identité alsacienne
francophile



> LABO EN DIRECT

La symbiose :
de la molécule à
l'écosystème

édito

2/ ÉDITORIAL

Microscop
Numéro 62
janvier 2011

**CNRS Délégation
Centre Poitou-Charentes**

3E, Avenue
de la Recherche scientifique
45071 ORLÉANS CEDEX 2
Tél. : 02 38 25 52 01
Fax : 02 38 69 70 31
www.centre-poitou-
charentes.cnrs.fr
E-mail :
Eric.Darrouzet@dr8.cnrs.fr

Directeur de la publication
Patrice Soullie
Rédacteur de la publication
Eric Darrouzet
Secrétaire de la publication
Florence Royer

Ont participé à ce numéro

Nicolas Alonso-Vante,
Alexandre Barnett,
Patrick Bois,
Edina Bozoky,
Sandrine Brochard,
Betty Charles,
Armelle Combaud,
Christine Dupuy,
Julien Durinck,
Aldo Gago-Rodriguez,
Julien Godet,
Régis Guegan,
Johann Lavaud,
Laurent Pizzagalli,
Nathalie Pothier,
Catherine Souty Grosset,
Vincent Theillère,
Solange Vernois.

Création graphique
www.enola-creation.fr

Imprimeur
Imprimerie Nouvelle

ISSN 1247-844X



Ce premier numéro de Microscop de 2011 vous invite à découvrir quelques-unes des multiples activités de recherche menées par les laboratoires de la délégation Centre Poitou-Charentes.

Des vasières littorales charentaises à Hansi en passant par les matériaux et l'énergie, les thèmes développés sont variés et illustrent le caractère pluridisciplinaire de la recherche dans nos régions du Centre et de Poitou-Charentes.

Je voudrais cependant m'arrêter sur la Chimie. Comme vous le savez, après la Biodiversité en 2010, l'UNESCO a décidé de consacrer 2011 année internationale de la chimie. Présente dans notre quotidien pratiquement partout, cette science de la transformation de la matière est incontournable pour relever les défis de demain.

Au CNRS, 183 laboratoires relèvent directement de l'Institut de Chimie. Dans la circonscription, huit laboratoires dont deux unités propres CNRS et six en partenariat avec les universités consacrent leurs recherches aux différentes facettes de cette discipline.

De nombreuses actions seront entreprises dans le cadre de cette année internationale qui amèneront les chercheurs à dialoguer et à vous présenter ces recherches primordiales pour notre cadre de vie de demain, tant pour l'énergie, l'environnement, la ressource en eau ou la santé.

Je vous invite sans plus attendre à consulter le site web de la délégation Centre Poitou-Charentes pour retrouver l'agenda de ces différentes manifestations.

En attendant, je vous souhaite une très bonne lecture.

Patrice SOULLIE
Délégué régional

agenda

exposition

ARGILES, HISTOIRE D'AVENIR

Depuis des millénaires, les argiles ont accompagné le quotidien dans l'habitat, l'outillage, l'art, la santé, l'hygiène.... Les études scientifiques et l'innovation technologique ont permis de transformer les usages traditionnels en produits de plus en plus techniques, présents dans nos papiers, peintures, nos tableaux de bord de voiture, remplissant des fonctions de plus en plus exigeantes.... Cette manifestation est réalisée par l'Espace Mendès-France avec les partenariats scientifiques du laboratoire HydrASA (CNRS/Université de Poitiers), le Centre de valorisation des collections de l'université de Poitiers et l'ONISEP de Poitou-Charentes.

Du 12 janvier au 25 septembre à Poitiers

■ **Pour en savoir plus :**
www.maison-des-sciences.org

manifestation

LA SEMAINE DU CERVEAU

Elle est organisée chaque année, simultanément, dans tous les pays d'Europe. Une série de manifestations est mise en place pour présenter à tous les publics les dernières avancées de la recherche sur le cerveau

Du 14 au 20 mars 2011

■ **Pour en savoir plus :**
www.semaineducerveau.fr/2011

à noter

PORTES OUVERTES DES UNIVERSITÉS

- **12 février**, Université François-Rabelais de Tours, Université d'Orléans, IUT de Tours et d'Orléans
- **12 mars**, Centres universitaires de Bourges, de Chartres et de l'Indre
- **12 mars**, Université de La Rochelle
- **19 mars**, Université et IUT de Poitiers

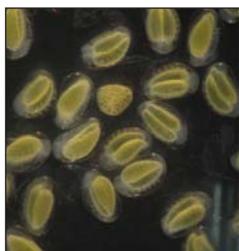
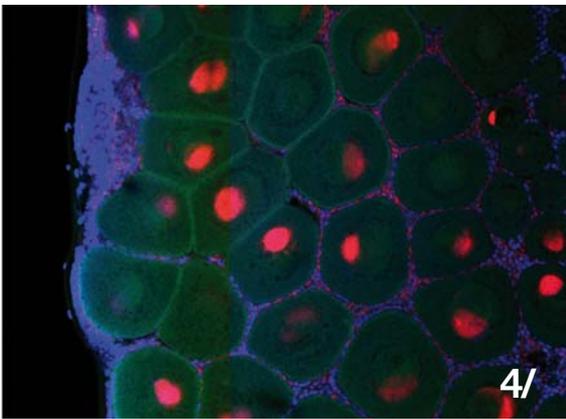
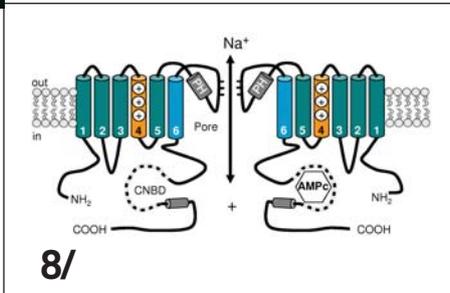


Photo de couverture

Les œufs de cloportes se développent dans une poche marsupiale sous le ventre de la mère. Sur ces jeunes embryons en début de développement, le début de segmentation est visible (les animaux adultes possèdent 7 paires de pattes).



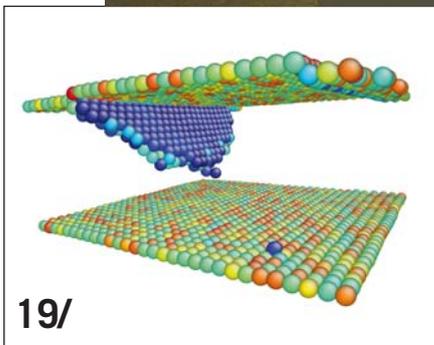
4/



8/



12/



19/



20/

Labo en direct
 La symbiose : de la molécule à l'écosystème

■
 ■ 4/

Biologie
 Du rythme cardiaque à la thérapie cellulaire

■
 ■ 8/

- Environnement**
- Les Organo-clays : l'avenir du stockage de déchets ? 10/
 - Les vasières littorales charentaises : du photosystème à l'écosystème 12/

Energie
 Quoi de neuf en micropiles à combustible ?

■
 ■ 16/

Matériaux
 La déformation plastique des matériaux en mode virtuel

■
 ■ 18/

- Histoire**
- HANSI ou la construction d'une identité alsacienne francophile 20/
 - Le miracle au Moyen Âge 22/

Armadillidium vulgare dans son milieu de vie. Les mâles sont généralement plus foncés que les femelles.



© LEES

La symbiose : de la molécule à l'écosystème

A Poitiers, les associations hôtes-parasites sont au cœur des activités de recherche du Laboratoire Ecologie, Evolution, Symbiose (LEES UMR CNRS/Université de Poitiers 6556). Les chercheurs s'intéressent aux interactions symbiotiques entre des crustacés terrestres et des bactéries du genre *Wolbachia* qui ont la capacité de transformer leur hôte mâle en femelle.

Associé au CNRS depuis les années 1970, le laboratoire est reconnu mondialement pour ses travaux sur l'association entre les bactéries et les cloportes, crustacé terrestre modèle facilement manipulable par rapport aux crustacés aquatiques. Historiquement, les thématiques du laboratoire ont évolué au cours du temps : les chercheurs, plutôt des systématiciens dans les années 50, se sont vite intéressés à des problèmes de reproduction et d'éco-physiologie de la reproduction. Une question génétique s'est vite posée en particulier par l'existence d'un rapport des sexes biaisé en faveur des femelles dans la descendance des cloportes. Celui-ci ne correspondait pas à l'équilibre attendu, c'est-à-dire à un déter-

minisme du sexe via des chromosomes sexuels. L'arrivée de la microscopie électronique a ensuite permis d'en découvrir la cause : une alpha protéobactérie ! Celle-ci présente dans les cellules des cloportes modifiait leur sexe et engendrait un plus grand nombre de femelles dans les populations. Avec l'avènement de la biologie moléculaire dans les années 90, cette bactérie a pu être assimilée au genre *Wolbachia*, une bactérie symbiotique probablement la plus répandue sur terre : 30 % des insectes actuels pourraient héberger cette bactérie. Chez les crustacés, 60 % des espèces seraient infectées. Les activités actuelles du laboratoire concernent « les interactions durables », avec comme modèle principal *Wolba-*

chia / Crustacés terrestres. Le thème fédérateur étant la symbiose entre ces deux organismes vivants. Dans ce cadre, les chercheurs ont une approche intégrée, de la molécule à l'écosystème ; les uns ayant une approche « écosystémique » alors que d'autres travaillent sur les molécules ou les interactions cellulaires.

Les travaux sur la symbiose ont bénéficié ces dernières années de la fantastique évolution des technologies de séquençage en génomique. Si durant les années 90, les études suggéraient que le symbiote (*Wolbachia*) pilotait le déterminisme du sexe de l'hôte (cloporte) (résultat démontré avec des études de génétique traditionnelle, c'est-à-dire par des croisements) actuel-



© LEES

Le modèle biologique est facilement manipulable : on peut ainsi injecter des *Wolbachia* directement dans la cavité générale des cloportes pour créer une nouvelle association.

lement, les chercheurs travaillent avec des techniques de génétique moléculaire, comme du séquençage haut débit du génome pour étudier plus finement les interactions entre les deux organismes.

Une grande équipe

Le LEES n'est pas constitué de groupes au sens habituel d'équipes. Le personnel se répartit selon deux grands axes :

- le premier concerne les interactions symbiotiques. Les chercheurs s'intéressent aux mécanismes moléculaires et cellulaires. Ils travaillent sur l'aspect fonctionnel de la symbiose.
- le second comprend des chercheurs qui travaillent plutôt au niveau des populations et des écosystèmes.

Un lien étroit relie les deux groupes de scientifiques, car toute modification de la symbiose entraîne forcément des répercussions au niveau populationnel. Le fait que les cloportes produisent plus de femelles a aussi des conséquences sur la structuration des écosystèmes. En effet, les cloportes sont des animaux de la faune du sol qui jouent un rôle clé dans le recyclage des matières organiques. Dès lors que ces populations de détritivores sont modifiées, le fonctionnement de l'écosystème l'est aussi.

Le laboratoire comprend 14 chercheurs CNRS et enseignants chercheurs et huit techniciens (ITA CNRS et IATOSS). Les techniciens travaillent sur un plateau

technique au service des chercheurs : ils ne travaillent pas spécifiquement avec tel ou tel scientifique mais plutôt sur des projets de recherche. Des réunions techniques régulières permettent aux membres du laboratoire d'échanger, d'aborder les difficultés diverses et variées rencontrées (planning de travail, appareils en panne...) et aux chercheurs de présenter leurs demandes de soutien technique. Ces réunions permettent ainsi de hiérarchiser les priorités et de planifier les missions des techniciens sur certaines périodes pour répondre aux demandes de chacun. Il y a également mutualisation de certains travaux : par exemple les méthodes de base comme les analyses d'ADN.

Plus de 150 espèces de cloportes en élevage

Un outil important propre à un grand nombre de laboratoires de biologie est l'élevage du modèle animal. Les cloportes, modèle historique du laboratoire, sont de bons modèles pour les études des relations symbiotiques. Certaines espèces de cloportes ne se reproduisent qu'une fois par an. Ce rythme de reproduction est un frein aux études de génétique. Il est crucial pour le laboratoire d'avoir un élevage fonctionnel et durable dans le temps pour ses études. Certaines lignées au LEES datent d'ailleurs des débuts de la structure et ont permis de démontrer le pilotage du sexe de l'hôte par le symbiote. Elles sont donc non seulement très anciennes mais surtout extrêmement précieuses. Leur disparition entraînerait la perte de 40 ans de croisements. Dans les lignées conservées au LEES, on peut trouver différentes espèces, différentes populations issues du monde entier, mais aussi des lignées génétiquement contrôlées dont le pedigree est connu et maîtrisé. Certaines vivent en symbiose avec *Wolbachia* alors que d'autres non. D'autres ont été manipulées, par introduction artificielle d'un symbiote. Des femelles sont ainsi produites grâce à la présence du symbiote, tout en possédant un matériel génétique mâle.

Le laboratoire a ainsi plus de 150 es-



© LEES

pèces en élevage : des espèces européennes, d'Amérique du Nord, du Sud, d'Asie et d'Afrique du Nord. Le monde entier est représenté, chaque espèce comprenant en outre plusieurs populations. Ce fond documentaire d'animaux est enrichi en permanence. Par convention ou collaboration, chaque mission à l'étranger est l'opportunité pour les chercheurs du laboratoire de collecter de nouveaux échantillons qui alimenteront l'élevage.

Les élevages sont répartis dans une quinzaine de salles sur un étage complet du bâtiment.

Salle d'élevage contrôlé. Chaque boîte contient la descendance d'une femelle croisée avec un mâle. Les individus sont identifiés par un matricule permettant ainsi de suivre des généalogies, dont certaines datent de plusieurs dizaines d'années.

Tylos Europeus



© LEES

Différentes études sur la symbiose

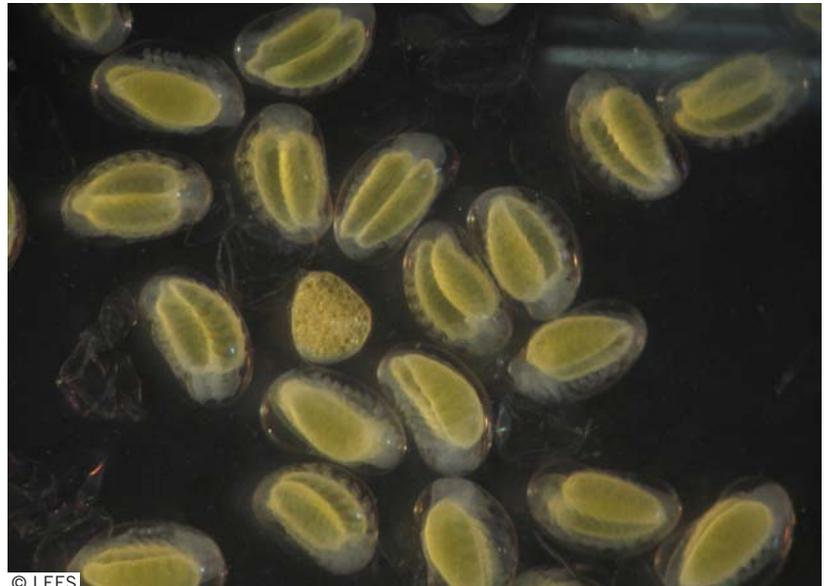
Actuellement, les études du LEES se font, entre autres, grâce à des programmes de recherche financés par l'Agence Nationale de la Recherche et l'European Research Council. L'un de ces programmes consiste à analyser la symbiose dans différents modèles (crustacés terrestres, insectes, bactéries). Certains modèles symbiotiques sont mutualistes (chaque partenaire en retire un profit), d'autres sont plutôt « conflictuels » (l'hôte développe une réaction immunitaire) et d'autres sont vecteurs de pathogènes pour l'homme (dengue, etc.). Le but de ce projet est de comparer différents systèmes symbiotiques et d'essayer de mettre en évidence des mécanismes communs. Les chercheurs s'intéressent particulièrement aux mécanismes de l'immunité. L'objectif final est de pouvoir proposer, via l'association symbiotique, des moyens de lutte respectueux de l'environnement contre les espèces ravageuses ou vectrices de maladies.

Un deuxième projet se concentre sur un aspect plus évolutif. Les chercheurs se penchent tout particulièrement sur l'évolution des interactions entre hôtes et symbiotes. Par exemple, via des transferts horizontaux artificiels de *Wolba-*

Armadillidium vulgare femelle (à gauche) et mâle (à droite).



© LEES



© LEES

Les œufs de cloportes se développent dans une poche marsupiale sous le ventre de la mère. Sur ces jeunes embryons en début de développement, le début de segmentation est visible (les animaux adultes possèdent 7 paires de pattes).

chia d'un hôte naturel vers un hôte différent, les scientifiques analysent les conséquences phénotypiques (la répartition et l'effet de *Wolbachia* dans les populations d'hôtes), les pressions de sélection sur les symbiotes à la suite de ces passages et les effets de leur présence sur l'hôte. Chez les hôtes, l'expression des gènes liés à l'immunité sont étudiés suite à des infections. L'étude des relations symbiotiques ou des relations hôtes / pathogènes apportent des données nouvelles sur le rapport transmission / virulence.

Un autre aspect concerne la génomique évolutive. L'étude consiste à élucider l'influence de la symbiose sur le déterminisme du sexe chez l'hôte. Les chercheurs ont par exemple montré que *Wolbachia* pouvait transférer tout ou une partie de son génome dans le cloporte. Ce matériel génétique y perdure ensuite, même si les symbiotes ne sont pas conservés. Grâce à des techniques de séquençage haut débit, les chercheurs vont rechercher ces inserts provenant des symbiotes dans le génome des cloportes. Ils supposent que de part leur localisation sur les chromosomes de l'hôte, ils peuvent induire un changement de sexe. Beaucoup d'études en

biologie évolutive concernent l'origine et le rôle du sexe au cours de l'évolution. Le modèle d'association entre une bactérie et un cloporte est d'actualité car les résultats des études au LEES permettraient d'apporter des éléments sur l'origine symbiotique du sexe.

D'autres études se font à un autre niveau, celui des écosystèmes. Des chercheurs du laboratoire s'intéressent à l'impact des changements globaux sur la biodiversité. Généralement les carabes sont utilisés comme bio-indicateurs des agro-systèmes; grâce à l'expertise du laboratoire sur les cloportes ces modèles animaux révèlent dorénavant leur intérêt. Des collaborations sont en cours avec une association d'agriculteurs sur un programme de développement de grandes cultures de céréales et protéagineux économes en ressources naturelles. Les premiers résultats ont montré un important impact sur la biodiversité des arthropodes du sol (en particulier des cloportes) avec des changements de pratiques culturales (plus écologiques avec moins d'intrants).

Des crustacés aquatiques sont aussi sous la loupe des chercheurs: les écrevisses sont utilisées comme bio-indicateurs dans les écosystèmes aqua-



Le changement de pratique agricole (prairie versus culture de maïs) est suivi pour en mesurer les impacts sur la diversité de la macrofaune du sol.

tiques. Les changements de pratiques culturelles qui modifient le paysage, les compositions des sols et également les rejets dans les cours d'eau sont ainsi étudiés à l'aide de ces deux types de bio-indicateurs terrestres et aquatiques.

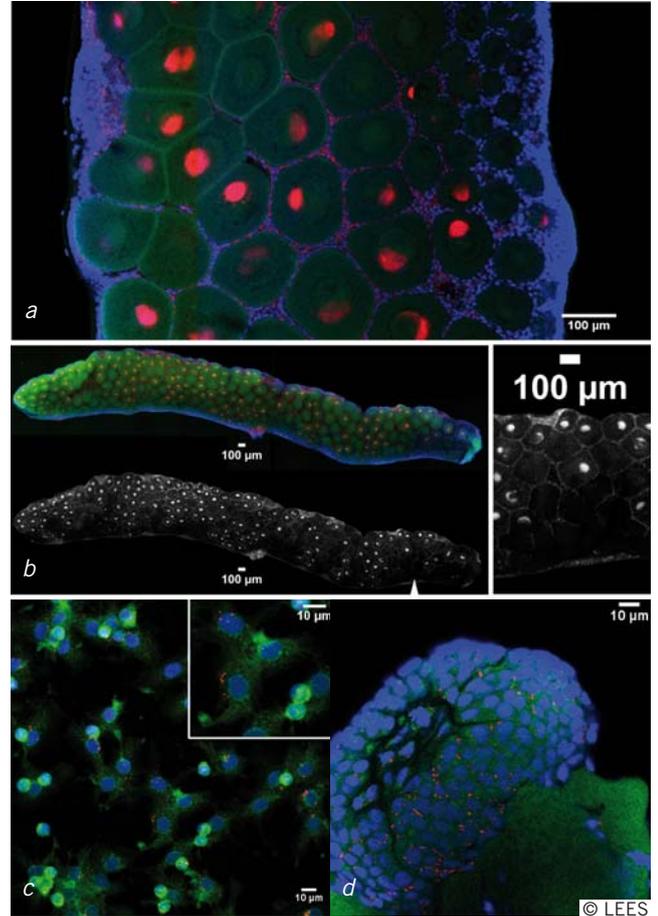
Des échanges européens

Le laboratoire fait partie d'un COST (programme européen de développement et de collaboration) regroupant environ 70 équipes de recherches réparties sur 17 pays. Son objectif est d'apporter une expertise dans le domaine de la lutte contre les ravageurs et les vecteurs à l'aide des associations symbiotiques. Les modèles *Wolbachia* et insectes sont majoritaires dans les sujets de recherches des équipes. Ce programme ne subventionne pas de recherches, mais finance des réunions thématiques annuelles, la mobilité d'étudiants et des écoles thématiques. En plus des échanges d'idées et de résultats, ce programme COST a donné lieu à de nombreuses collaborations entre laboratoires.

Un master européen

Le LEES est coordinateur d'un master Erasmus Mundus européen (*European*

Master in Applied Ecology) en collaboration avec 8 universités : Kiel en Allemagne, Coimbra au Portugal, Norwich en Angleterre, Athens aux États-Unis, Porto Alegre au Brésil, Adelaide en Australie, Otago en Nouvelle-Zélande et Quito en Équateur. La plupart des enseignants chercheurs ayant créé cette formation ont au préalable développé des collaborations scientifiques. Ils travaillent sur la faune d'arthropodes du sol et sur la symbiose. Cette formation s'est donc faite en partant de la recherche et y revient puisque un certain nombre d'étudiants des masters 2 réalisent leur stage de recherche dans les laboratoires travaillant sur la symbiose. Cette formation accueille annuellement 27 étudiants, soit environ 10 % des candidats. Le premier trimestre de la première année se passe à Poitiers. Lors du second semestre, les étudiants se séparent en groupes et vont suivre des cours dispensés dans les 4 universités fondatrices (Poitiers, Kiel, Coimbra et Norwich). Leur mobilité est prise en charge par le programme Erasmus. La formation à Poitiers est plus axée sur la dynamique des populations et des milieux terrestres ; l'Université de Norwich est plutôt spécialisée sur les



Détection de *Wolbachia* en Hybridation in situ Fluorescente (FISH) chez *Armadillidium vulgare* (*Wolbachia* : rouge (FISH) ; noyaux : bleu (coloration au DAPI) ; actine : vert (coloration à la phalloïdine FITC)).

Dans les animaux infectés, les *Wolbachia* colonisent les ovocytes afin d'assurer leur transmission à la descendance (images a et b), ainsi que plus d'un tiers des hémocytes (image c), cellules qui sont pourtant responsables de la réponse immunitaire. Elles infectent jusqu'aux organes hématopoïétiques (image d) qui produisent les hémocytes.

changements globaux ; la formation à Kiel s'intéresse en particulier aux environnements côtiers (donc les zones humides) ; et enfin celle de Coimbra est plus axée sur l'éco-toxicologie. Les étudiants choisissent ensuite l'une des 9 universités partenaires pour faire leur seconde année de master. ■

Eric DARROUZET

Catherine SOUTY-GROSSET

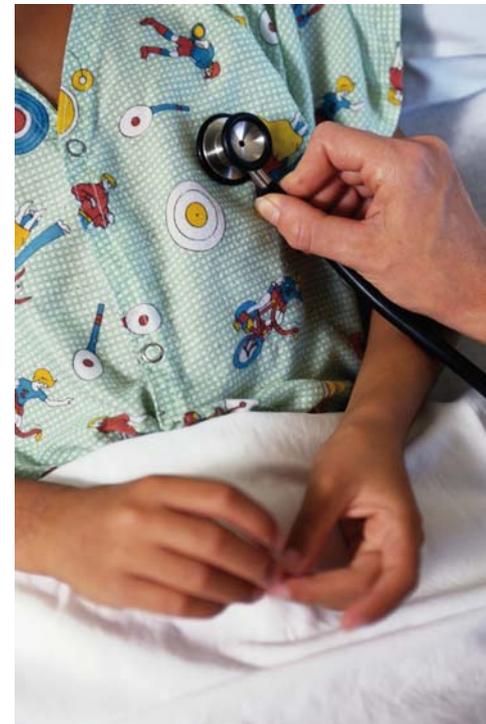
Du rythme cardiaque à la thérapie cellulaire

Après avoir contribué à la caractérisation de la cible moléculaire responsable de l'autorythmicité cardiaque, l'Institut de Physiologie et Biologie Cellulaires de Poitiers (UMR 6187 CNRS/Université de Poitiers) a expertisé une nouvelle molécule capable de réduire significativement la fréquence cardiaque, tout en ayant des effets bénéfiques dans le traitement de l'insuffisance cardiaque. Ce médicament est le fruit de 15 années de recherche appliquée à partir de connaissances fondamentales acquises dans le cadre de la recherche académique.

La genèse du rythme cardiaque

« Donc le cœur est mû par quelque cause inconnue, qui ne dépend ni du cerveau, ni des artères et qui est cachée dans la fabrique même du cœur ». Ce concept établi par Von Haller en 1766 a été un facteur décisif à la découverte de la propriété d'autorythmicité cardiaque. Ce n'est que bien plus tard, en 1907, que Keith et Flack ont montré

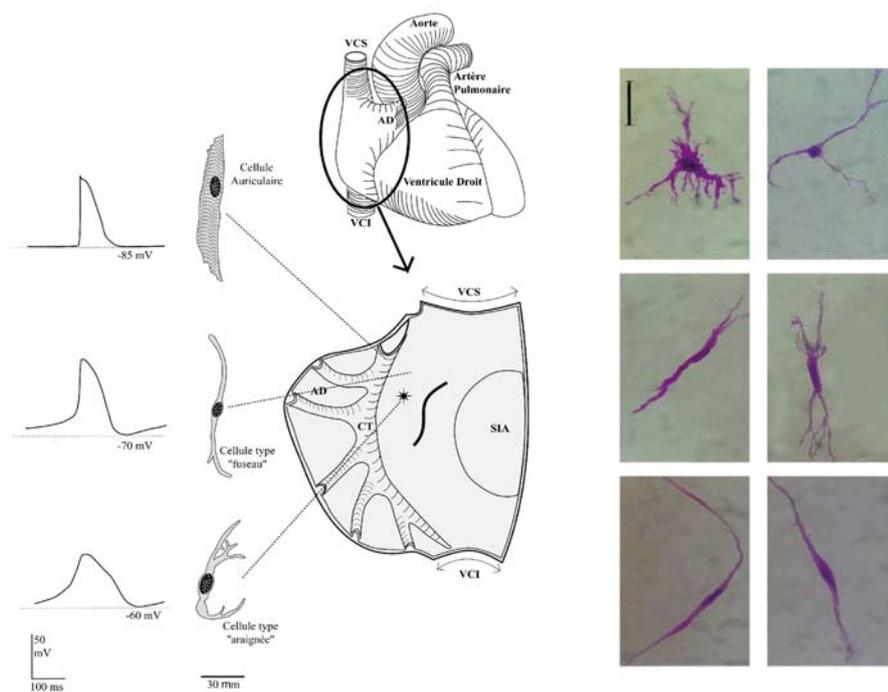
que le centre générateur d'impulsions se situait dans les tissus du nœud sino-atrial (NSA) cardiaque. Cette région est localisée, dans l'oreillette droite, à la jonction du crista terminalis auriculaire et du tissu veineux. Le développement des techniques de dissociation de cellules cardiaques viables couplées aux techniques d'électrophysiologie cellulaire a permis de montrer que l'activité



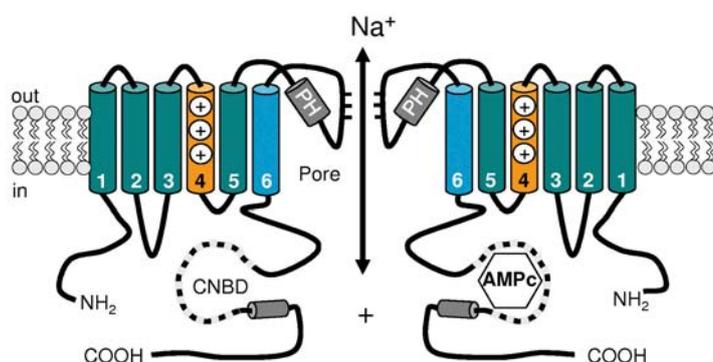
rythmique des cellules « pacemaker » est la conséquence d'un effet coopératif de plusieurs canaux ioniques, dont le courant entrant activé en hyperpolarisation I_h , originellement nommé I_f (f = « funny », pour son allure tout à fait originale lors de sa première description). Ce canal, notamment caractérisé à l'IPBC, joue un rôle prépondérant dans l'autorythmicité cardiaque ; il est considéré comme étant à l'origine de la genèse et de la régulation de l'activité électrique spontanée des cellules du NSA. Ce courant ionique associé à des protéines transmembranaires spécifiques est donc un élément déterminant de notre pacemaker interne.

Le courant de « pacemaker »

Le courant f des cellules nodales est un courant entrant transporté par les ions sodium. Le canal responsable du courant f appartient à la famille des canaux activés par l'hyperpolarisation et sensibles aux nucléotides cycliques intracellulaires. Ces canaux sont codés par les gènes HCN (pour « Hyperpolarization-activated Cyclic Nucleotide-gated channels ») dont quatre isoformes (HCN1 à 4) ont été clonées. Dans le



Représentation schématique de la zone musculaire du nœud sino-auriculaire. A gauche, configuration des potentiels d'action enregistrés de la périphérie au centre du sinus où sont initiés les premiers influx (étoile). Au centre, illustration du type cellulaire le plus fréquemment observé dans chacun des sites. AD, auricule droit ; CT, crista terminalis ; SIA, septum inter-auriculaire ; VCI, veine cave inférieure ; VCS, veine cave supérieure. A droite : exemples de cellules de pacemakers primaires et secondaires. (Echelle: 10 μ m)



Représentation schématique de l'organisation dans la membrane de deux sous-unités d'un canal de pacemaker (type f). Le site de fixation de l'AMPc (CNBD : « cyclic nucleotide binding domain ») est situé dans la partie carboxy-terminale.

cœur, l'isoforme HCN4 est la forme prépondérante. Dans les conditions physiologiques, le courant de pacemaker des cellules du NSA est la cible privilégiée des neurotransmetteurs du système nerveux autonome, la noradrénaline et l'acétylcholine. Par l'activation respective de récepteurs (β_1 - et β_2 -adrénergiques et M_2 -muscariniques), ces médiateurs modifient le taux d'un nucléotide cyclique intracellulaire (AMPc), en l'augmentant et le diminuant, respectivement. L'AMPc module directement et instantanément l'activité des canaux-f. Ainsi le rythme cardiaque est soumis à un contrôle extrêmement précis dont l'élément central est le courant f. On comprend par conséquent que le contrôle pharmacologique de ce courant ait généré un engouement considérable.

Les canaux-f cibles d'un nouveau médicament

Depuis une quinzaine d'années, l'IPBC, en relation avec un laboratoire pharmaceutique, a identifié les effets d'une nouvelle molécule, l'ivabradine, ayant pour cible le canal de pacemaker. Cette molécule, maintenant devenue un médicament, bloque le courant f et ainsi ralentit le rythme cardiaque sans induire d'action sur la contraction cardiaque ni sur la vitesse de conduction intracardiaque. Cet effet présente un intérêt thérapeutique majeur puisque, comme l'a montrée très récemment une étude clinique, ce médicament réduit de 24 % le risque de décès et d'hospita-

lisation pour les patients souffrant d'insuffisance cardiaque chronique.

Le pacemaker biologique : une application de la thérapie cellulaire

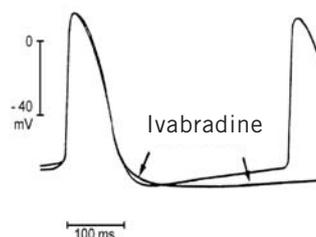
La caractérisation du courant f a permis non seulement de mettre sur le marché une nouvelle molécule et de voir naître une nouvelle famille d'agents anti-arythmiques, mais aussi de développer de nouveaux concepts plus fondamentaux. La parfaite connaissance des acteurs cellulaires et moléculaires impliqués dans l'activité automatique des cellules excitables permet en effet d'envisager leur utilisation thérapeutique dans des cas de troubles du rythme d'origine sinusal. L'objectif poursuivi est de pallier les insuffisances d'un nœud sinusal (pacemaker naturel) malade par un pacemaker biologique. Les pacemakers biologiques pourraient apporter de nombreux avantages par rapport aux pacemakers de synthèse, et notamment une aptitude fondamentale à adapter le rythme cardiaque aux besoins de l'organisme, c'est-à-dire conservant une modulation par le système nerveux autonome. Les avancées dans ce domaine sont fondées sur des techniques de transfert de gènes et des techniques d'injection de cellules spontanément automatiques ou génétiquement modifiées. Par exemple l'utilisation de cellules humaines mésenchymateuses génétiquement modifiées exprimant des canaux HCN a permis d'obtenir un courant dépolarisant diastolique après formation d'un syncytium^(*)

fonctionnel de ces cellules avec les cellules natives dans le tissu cardiaque. Néanmoins, les problèmes encore inhérents à la thérapie cellulaire (réponse immunitaire, néoplasie, migration cellulaire...) restent à résoudre avant de pouvoir appliquer en toute sécurité cette technologie à des fins cliniques.

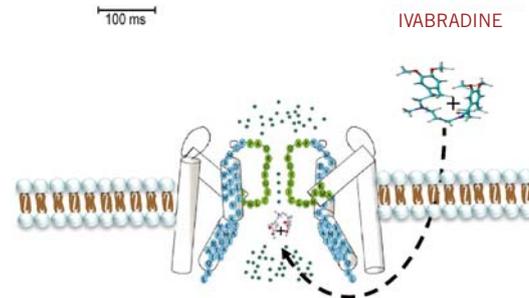
Le courant de pacemaker, codé par les gènes de la famille HCN, est considéré comme une cible privilégiée non seulement pour moduler le rythme lors d'une insuffisance cardiaque mais aussi pour l'élaboration d'un pacemaker biologique. Compte tenu de la distribution ubiquitaire des canaux de pacemaker, il est concevable d'appliquer ce concept de « pacemaker biologique » sur toutes les préparations douées d'autorythmicité. Des études dans ce sens sont envisagées sur l'intestin et sur certaines zones cérébrales à activités électriques oscillatoires. Les perspectives en termes d'applications sont considérables et conduisent l'IPBC à persévérer dans la recherche des mécanismes intimes de fonctionnement et de contrôle des canaux de pacemaker. ■

Contact :
Patrick BOIS
patrick.bois@univ-poitiers.fr

(*) réseau de cellules



Propriétés pharmacologiques de l'ivabradine. En haut : l'ivabradine diminue la fréquence de l'activité spontanée enregistrée sur une cellule isolée à partir du NSA. La molécule chargée bloque le courant ionique via les canaux pacemaker du côté intracellulaire.



Les Organo-clays : l'avenir du stockage de déchets ?

Dans les sites de stockage des déchets, des argiles modifiées chimiquement peuvent interagir et capturer des composés organiques non-ioniques difficilement retenus par les barrières argileuses usuelles utilisées. Elles sont d'un grand intérêt environnemental et industriel.

La récente mise en place du tri sélectif et du traitement associé des déchets dans l'agglomération orléanaise constitue une certaine avancée sur le devenir des ordures ménagères. Ainsi, de nombreux matériaux sont recyclés et valorisés une nouvelle fois dans la société de consommation. Cependant, les efforts entrepris pour recycler n'éclipsent pas la forte proportion des déchets, de l'ordre de 40 %, vouée, suivant leur toxicité, au stockage et à l'enfouissement dans des sites prévus à cet effet. La structure de ces sites d'enfouissement technique, dont les premières installations datent des années 50, doit répondre à des normes de sécurité très strictes afin d'éviter toute dispersion des polluants contenus dans les ordures ménagères. Le stockage de déchets de différentes nature et origine pendant plusieurs années provoque diverses réactions physico-chimiques dont les produits chimiques résultant sont toxiques. Des analyses sur certains sites montrent des teneurs en forte proportion en éléments traces métalliques et



Vue d'un site d'enfouissement technique des déchets.

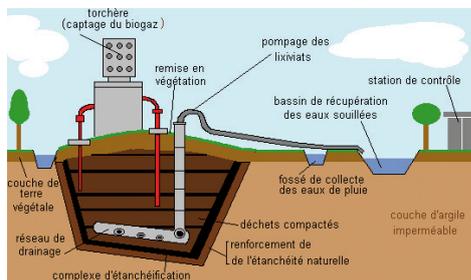
en polluants de différentes natures chimiques.

La pérennité du système de confinement pendant plusieurs dizaines d'années est assurée par une double barrière de sécurité. Une active, incluant des matériaux géosynthétiques en vue d'obtenir un complexe étanche-drainant. La seconde, passive, constitue la garantie sur le long terme de l'installation de stockage, et est composée traditionnellement par un matériau fortement présent sous une grande variété de forme, les minéraux argileux et plus spécifiquement les montmorillonites.

physique (action du vent et conditions météorologiques extrêmes). Les argiles sont définies et distinguées des autres éléments du sol par la taille des particules inférieures à 0,2 µm. Les minéraux argileux du fait de leurs propriétés, de leur faible coefficient de perméabilité et de leur faible coût constituent le matériau le plus communément utilisé comme barrière passive dans les centres d'enfouissement technique des déchets ménagers. En effet, les minéraux argileux comme la montmorillonite présentent des capacités d'échange cationique (composés possédant une charge positive), des propriétés de gonflement et d'hydratation, ainsi qu'une grande surface spécifique qui leur confèrent de fortes propriétés d'adsorption.

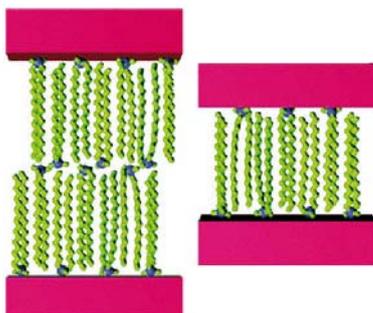
La structure d'une argile de type montmorillonite est caractérisée par l'empilement de feuillets constitués de deux

Structure d'un site d'enfouissement technique. Les déchets reposent sur deux couches géochimiques, dont l'une est de l'argile compactée.



Les propriétés remarquables de l'argile et ses limites

L'argile est un minéral qui provient essentiellement de la décomposition du feldspath, élément majeur de la croûte terrestre, par divers processus d'altération chimique (eau de pluie) et mécano-



Organo-clays synthétisés via l'intercalation de surfactants cationiques.

couches de silice (sous forme de Si_4O_{10}) bordant une couche d'aluminium ($\text{Al}_4(\text{OH})_{12}$) ou de magnésium ($\text{Mg}_6(\text{OH})_{12}$). La différence de charge entre l'aluminium et le magnésium implique un déficit de charge qui conduit à une surface des feuillets chargée négativement. Ce déficit de charge est contrebalancé par l'intercalation de cations compensateurs (Na^+ , Ca_2^+ , K^+ ...) qui sont aisément substituables, permettant ainsi des échanges cationiques. Ces argiles sont *a fortiori* un très bon matériau pour la sorption d'éléments traces métalliques. De plus, la surface des feuillets, due à la présence de groupements silanols, est principalement hydrophile (affinité avec l'eau) et permet l'adsorption de nombreux polluants organiques (polaires et ioniques) contenus dans les déchets d'ordures ménagères; mais elle s'avère inapte pour l'adsorption de composés organiques non-ioniques tels que le benzène, le méthane... Cette incapacité d'adsorption de contaminants organiques non-ioniques peut mener à des problèmes écologiques dans les centres d'enfouissement technique des déchets ménagers, où les barrières passives argileuses sont totalement perméables à ces polluants.

Les complexes organo-argileux ou « organo-clays »

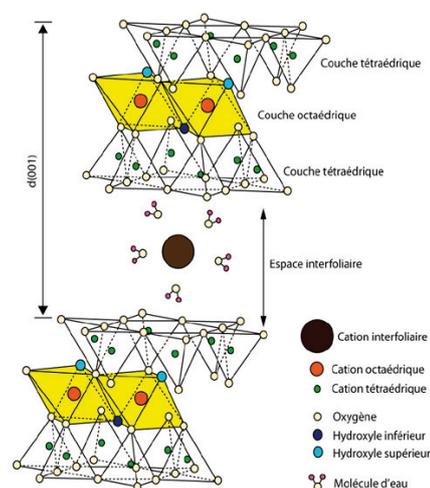
Plusieurs solutions ont été proposées pour remédier et améliorer la rétention de ces polluants organiques non-

ioniques dans les barrières géochimiques. Une solution est de modifier la nature chimique de la surface des argiles en la rendant hydrophobe. Des cations organiques (ammoniums quaternaires) sont intercalés dans l'espace interfoliaire par échange ionique de manière irréversible, rendant ainsi l'argile hydrophobe (affinité avec les graisses). Cependant, l'irréversibilité de la synthèse empêche toute substitution ionique ultérieure, les rendant perméables aux éléments traces métalliques dans ce cas. Une issue possible est d'alterner des couches d'argiles traitées et brutes pour constituer des barrières géochimiques répondant aux divers polluants métalliques et organiques.

Double capacité de rétention des organo-clays

L'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO, UMR 6613 CNRS/Université d'Orléans) contribue à développer de nouveaux matériaux lamellaires et à mieux comprendre les interactions entre les argiles et divers polluants. La récente synthèse d'un organo-clay via l'introduction dans sa structure d'un surfactant non-ionique permet d'entrevoir une autre alternative concernant la problématique des barrières géochimiques. L'étude de cet organo-clay par un jeu de techniques complémentaires (diffusion des rayons X aux petits angles sur rayonnement synchrotron SOLEIL, spectroscopie infrarouge, isothermes d'adsorption, résonance magnétique nucléaire – fruit d'une collaboration avec le laboratoire Conditions Extrêmes et Matériaux: Haute Température et Irradiation - CEMHTI - UPR CNRS à Orléans) a permis de montrer aussi bien sa stabilité thermique que chimique, le changement de la nature chimique de l'argile d'hydrophile à hydrophobe et la préservation des charges permettant l'échange ultérieur de cations.

L'organo-clay synthétisé peut retenir des polluants organiques neutres, comme le benzène qui n'interagit aucunement avec l'argile. Les composés ioniques



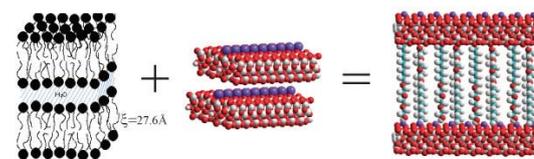
Structure lamellaire d'une argile comme celle utilisée dans les barrières géochimiques passives.

sont de même adsorbés par échange cationique mais en moindre proportion (50 % de moins) qu'une montmorillonite conventionnelle. Ainsi, l'organo-clay montre une double capacité de rétention et d'échange avec des composés ioniques ou neutres, ce qui est de grande importance pour la fabrication de nouveaux composites ou la réalisation de nouvelles barrières géochimiques pour la rétention à la fois d'éléments traces métalliques et de polluants non polaires hydrophobes, présents en quantité non négligeable dans les sites d'enfouissement technique des déchets. ■

Contact

Régis GUEGAN

regis.guegan@univ-orleans.fr



Organo-clay synthétisé par un surfactant en phase lamellaire dont l'épaisseur de la bicouche vaut 28 Å et d'une montmorillonite échangée par des ions Na^+ . L'organo-clay obtenu conserve ses cations compensateurs dans l'espace interfoliaire et montre le confinement d'une bicouche de surfactant rendant l'argile hydrophobe, nature chimique adéquate pour l'adsorption de composés organiques neutres.



Les vasières littorales charentaises : du photosystème à l'écosystème

La zone littorale est un méta-écosystème « physico-chimico-biologique » complexe où les influences terrestres et marines convergent en une mosaïque d'écosystèmes qui sont fortement structurés et interconnectés au travers d'échanges d'énergie et de matières organique et minérale.

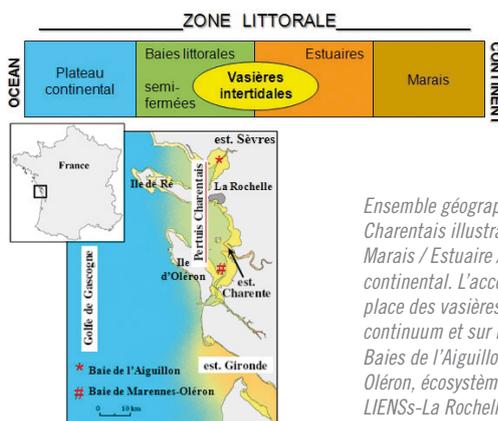
Les propriétés biologiques et économiques des vasières charentaises

Le littoral est caractérisé par la série typique d'écosystèmes – marais / estuaire / vasière intertidale⁽¹⁾ / baie semi-fermée / plateau continental – chacun d'entre eux constituant un patchwork d'habitats. Bien qu'elles ne représentent qu'une faible fraction de la surface des océans (8,5 %), les régions côtières sont d'une importance capitale pour trois raisons principales :

- une très forte biodiversité allant des bactéries et microalgues unicellulaires aux macroconsommateurs secondaires complexes (poissons, oiseaux, mammifères marins, hommes),
- une forte productivité biologique qui est parmi l'une des plus fortes sur la planète; jusqu'à 30 % du total annuel, ce qui correspond à la productivité des forêts tropicales,
- un rôle majeur dans les cycles biogéochimiques de plusieurs composants essentiels à la vie (comme le carbone, l'azote et le phosphore) car ils servent de « nutriments » aux organismes.

Au cours des deux dernières décennies, il a été établi que les vasières littorales intertidales jouent un rôle essentiel dans la productivité des zones côtières. Les raisons en sont leur situation centrale dans le continuum littoral et leur capacité à enrichir les écosystèmes adjacents. Les ressources biologiques uniques des vasières sont largement exploitées par les activités humaines. Les Pertuis Charentais, qu'étudie à

La Rochelle le Laboratoire Littoral, Environnement et Sociétés, (LIENSs - UMR 6250 CNRS/Université de La Rochelle), sont le premier site de production de moules en France (Baie de l'Aiguillon), un des premiers sites de production d'huîtres en Europe (Baie de Marennes-Oléron). Ils constituent un site majeur pour la reproduction piscicole qui soutient les pêcheries locales et celles du Golfe de Gascogne. Ces acti-



Ensemble géographique des Pertuis Charentais illustrant la série typique Marais / Estuaire / Baie / Plateau continental. L'accent est mis sur la place des vasières intertidales dans ce continuum et sur la localisation des Baies de l'Aiguillon et de Marennes-Oléron, écosystèmes modèles pour LIENSs-La Rochelle. ('est.' : estuaire).



© J. Serodio

Vasière de la Baie de l'Aiguillon au printemps (prise de vue à 180°)

vités sont essentielles au maintien du tourisme régional, la région de La Rochelle étant un des pôles d'attraction du littoral atlantique.

La production primaire des vasières littorales intertidales

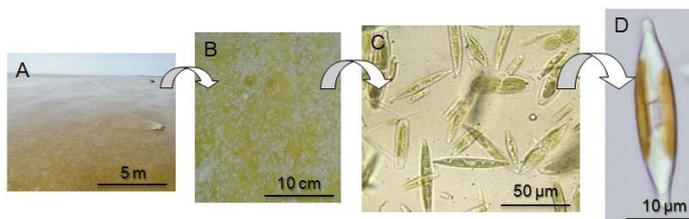
Le compartiment microbien des vasières assure l'entrée dans la chaîne alimentaire littorale des énergies chimique (nutriments) et physique (lumière) et leur conversion en énergie biologique sous forme de matière organique carbonée consommable. La forte productivité des vasières est due à l'assemblage de microalgues (ou microphytobenthos⁽²⁾) et de procaryotes⁽³⁾ (bactéries et archées) qui possèdent des propriétés biologiques uniques. Pendant l'émersion, le microphytobenthos forme un biofilm dense à la surface de la vase dont l'activité photosynthétique⁽⁴⁾ peut localement épuiser le pool de nutriments. Les procaryotes sont capables de rétablir ce pool en recyclant les nutriments par minéralisation de la matière organique morte (déchets, cadavres, etc.). De cette manière, les procaryotes soutiennent la production photosynthétique, dite « primaire » car à la base de la chaîne alimentaire, du microphytobenthos. En échange ce dernier excrète des facteurs de croissance bactérienne (comme l'inositol) et des substances sucrées ou exopolysaccharides (EPS) sur lesquels se nourrissent les procaryotes. Cette production primaire est ingérée sur place par les consommateurs des vasières soit

lors de l'émersion, comme par exemple par les hydrobie (mollusques), soit lors de l'immersion comme par exemple par les mullets (poissons).

Elle est aussi exportée vers les écosystèmes adjacents par des voies trophiques⁽⁵⁾ (consommateurs mobiles comme les poissons et les oiseaux, transport aquatique des organismes, etc.) et hydrodynamiques (courants de marée, vagues, etc.). Une de ces voies principales est la remise en suspension du biofilm microbien dans la colonne d'eau lors de la marée montante. Ainsi, le biofilm microbien joue un rôle central dans le fonctionnement du réseau trophique littoral dans son ensemble : vasières intertidales et écosystèmes terrestres et marins voisins. Mieux comprendre la régulation de la productivité biologique du biofilm microbien des vasières est un des enjeux centraux

du LIENSs. Ce travail permettra à terme de proposer une gestion rationnelle et durable des zones côtières.

Bien que la productivité primaire des vasières est de mieux en mieux quantifiée, le fonctionnement du biofilm microbien, et en particulier du microphytobenthos, reste en grande partie une « boîte noire ». En effet, le biofilm est souvent considéré comme une entité simple plutôt qu'un mélange complexe de différentes communautés/populations possédant des fonctionnalités biologiques variées qui répondent spécifiquement aux contraintes environnementales. De plus, et parce que les vasières sont localisées entre influences terrestres et marines, l'activité du microphytobenthos est contrôlée par des forçages physiques et chimiques très variables. En particulier, il n'existe pas de description claire de la régulation fine



De la vasière à la cellule de diatomée en passant par le biofilm : A- Vasière de la Baie de l'Aiguillon au printemps, B- Le biofilm microbien, les tâches brunes correspondent au microphytobenthos, C- Le microphytobenthos vue par microscopie, chaque cellule correspond à une diatomée, D- Une cellule de diatomée (*Navicula gregaria*), les deux tâches brunes correspondent aux organelles pigmentées, les chloroplastes, où a lieu la photosynthèse, la couleur brune provient de pigments caroténoïdes.



© LIENSS

Prélèvements dans une vasière

de la productivité du microphytobenthos et de ses dynamiques en fonction des influences abiotiques (lumière, nutriments, température, etc.) et biotiques (activité bactérienne, broutage des consommateurs, etc.).

L'étude de la productivité photosynthétique du microphytobenthos

Sous nos latitudes, le microphytobenthos est largement dominé par les diatomées, un groupe de microalgues brunes. Dans les sédiments vaseux des Pertuis Charentais, le microphytobenthos est quasi-exclusivement constitué de diatomées mobiles (« épipéliques »), une particularité biologique unique parmi les végétaux. Habituellement, l'abondance des diatomées épipéliques est saisonnière et bien que leur diversité soit importante, il est courant que seulement deux à trois espèces dominent, ces espèces pouvant changer d'une saison à l'autre. Les diatomées épipéliques migrent verticalement dans la vase en fonction du cycle tidal : elles migrent en surface lors de l'émergence pour profiter de la lumière et migrent en profondeur lors de l'immersion et ainsi de suite au gré des marées. Ainsi, les

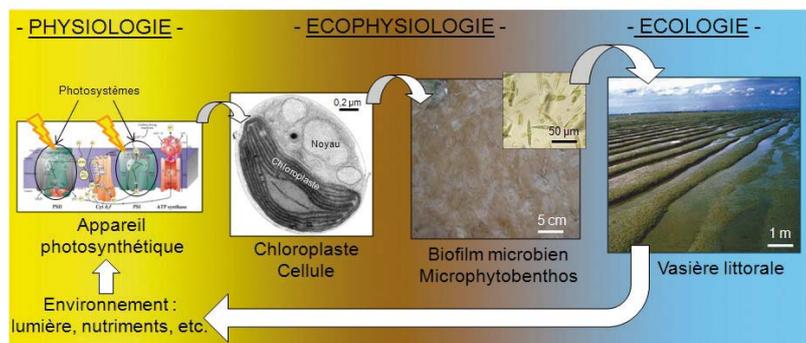
diatomées doivent gérer des fluctuations permanentes de la lumière, avec des changements sévères lumière/obscurité (qui correspondent aux événements émergence / immersion et jour / nuit) auxquels s'ajoutent les fluctuations saisonnières et journalières (mouvements des nuages, etc.). L'activité photosynthétique des diatomées est donc fortement contrainte par un tel climat lumineux. Les diatomées ont développé des stratégies d'adaptation à la lumière. Elles sont de deux sortes :

- comportementale: les cellules migrent

au sein du sédiment pour réguler leur environnement lumineux, par ailleurs, elles fuient les intensités trop fortes à la surface de la vase l'été,

- physiologique: des processus intracellulaires rapides dits « photoprotecteurs » permettent à l'appareil photosynthétique de réguler rapidement la collecte et l'utilisation de l'énergie lumineuse.

Ces mécanismes impliquent entre autres des pigments (caroténoïdes), également présent dans la rétine humaine par exemple. Chez les diatomées épipéliques,



Démarche scientifique de l'étude de la production primaire des vasières littorales charentaises. Cette figure illustre la complémentarité des approches aux différents niveaux d'intégration : « du photosystème à l'écosystème ».



© LIENSS

Mise en échantillons sur le terrain

liques, la photoacclimatation est rendue unique par l'équilibre entre migration et mécanismes de photoprotection.

L'étude de ces processus requiert des approches complémentaires, allant de la physiologie microalgale à l'écologie littorale, à différents niveaux d'intégration : de l'appareil photosynthétique à la vasière, autrement dit « du photosystème à l'écosystème ». Cette approche unique a récemment permis plusieurs avancées significatives grâce à des collaborations avec des laboratoires européens (allemands, portugais, anglais et italiens) :

- un travail couplant la génétique et la physiologie fine qui a permis pour la première fois la production de mutants photosynthétiques de diatomées ; une avancée majeure pour mieux comprendre la régulation de la photosynthèse de ces importants producteurs primaires ;
- un travail centré sur l'écophysiologie du microphytobenthos avec pour la première fois l'utilisation d'inhibiteurs spécifiques de la migration et de la photoprotection sur du biofilm prélevé *in situ* ; une autre avancée importante pour mieux comprendre la relation

entre ces deux aspects de la régulation de la productivité photosynthétique du microphytobenthos ;

- un travail sur le rôle et l'importance de la photoprotection physiologique dans l'écophysiologie et l'écologie des microalgues et plus particulièrement des diatomées ;
- un travail ciblant les dernières avancées technologiques et méthodologiques pour la mesure et l'évaluation de la production primaire et de sa régulation *in situ*. ■

Contacts :

Johann LAVAUD

johann.lavaud@univ-lr.fr

Alexandre BARNETT

a.barne01@univ-lr.fr

Christine DUPUY

christine.dupuy@univ-lr.fr



© LIENSS

L'aérogilisseur est le seul moyen de déplacement sur les vasières.

GLOSSAIRE

⁽¹⁾ **Intertidal** : soumis au balancement des marées, ou cycle tidal, qui est un enchaînement de périodes d'émergence et d'immersion d'environ 6 heures chacune.

⁽²⁾ **Microphytobenthos** : organismes microscopiques ('micro') végétaux ('phyto') communément appelés 'microalgues' qui vivent sur ou dans un substrat ('benthos'), des sédiments sablo-vaseux dans le cas des vasières.

⁽³⁾ **Procaryotes** : organismes unicellulaires communément appelé 'microbes' ou 'bactéries' présentant une organisation cellulaire simple dépourvue d'organelles (pas de 'vrai' noyau par exemple), au contraire des eucaryotes (comme les plantes et les animaux).

⁽⁴⁾ **Photosynthèse** : processus biologique qui permet de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique utilisée pour fixer le carbone de l'air (CO_2) et/ou de l'eau (carbonates, HCO_3^-) et former de la matière organique consommable.

⁽⁵⁾ **Trophique** : se dit des voies (ou réseaux) par lesquelles circulent l'énergie et la matière au sein d'un écosystème ; communément appelées 'chaînes alimentaires'. Un réseau trophique est l'ensemble des voies trophiques interconnectées au sein d'un écosystème ou entre plusieurs écosystèmes.

Quoi de neuf en micropiles à combustible ?

La société actuelle a des besoins grandissant en énergies pour toutes les nouvelles technologies mobiles utilisées au quotidien. Les ordinateurs, les téléphones portables consomment de plus en plus d'énergie afin de s'adapter au mieux aux besoins. Pour améliorer les performances, les échanges d'informations, les sources d'énergie doivent pouvoir s'adapter. Est-ce que les batteries Lithium-ion pourront relever ce défi ou est-ce qu'il existe une autre solution ?

La réponse est oui. La solution est la micropile à combustible à méthanol direct ou μ DMFC (*direct-methanol micro-fuel cell*). La DMFC est une sous-catégorie de piles à combustible à membrane échangeuse de protons dans laquelle le combustible, le méthanol (CH_3OH) est fourni directement sans nécessité d'être reformé. Le méthanol est oxydé à l'anode de la pile afin de former du dioxyde de carbone. En même temps le dioxygène est réduit à la cathode afin de former de l'eau. Ces réactions électrochimiques ont lieu à la surface des matériaux catalytiques nanostructurés : platine/ruthénium (Pt-Ru) à l'anode et platine (Pt) à la cathode. Ils sont déposés sur du carbone et sur chaque côté d'une membrane polymérique qui sert d'électrolyte. Les réactions électrochimiques produisent un

courant électrique qui peut être utilisé pour alimenter des appareils portables. Néanmoins pour cette application particulière il faut utiliser des technologies de la micro-électronique pour fabriquer toutes les pièces qui interviennent dans une μ DMFC.

Outre différentes entreprises industrielles privées, plusieurs équipes de recherche s'intéressent aussi à cette problématique, notamment le Laboratoire de Catalyse en Chimie Organique (LACCO – CNRS/Université de Poitiers), lequel développe de nouveaux catalyseurs pour la cathode des μ DMFCs. En utilisant des techniques peu sophistiquées, les chercheurs y synthétisent des nanomatériaux catalytiques pour les électrodes de ces piles.

Toutefois, des problèmes persistent dans les μ DMFCs. L'entrecroisement de combustible de l'anode à la cathode, le management d'eau produite à la

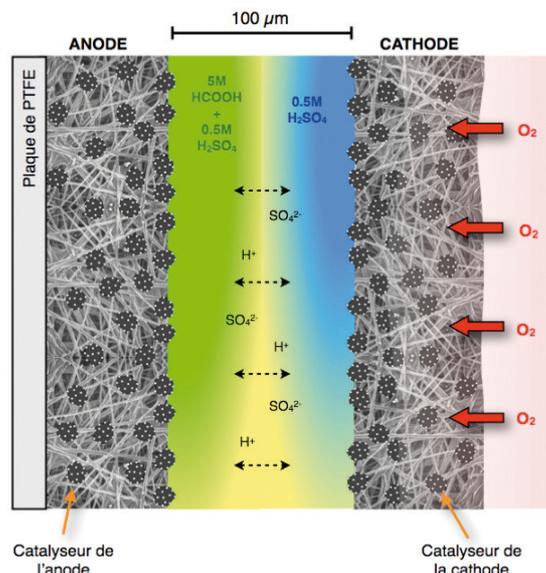
cathode et les faibles performances, sont loin d'être totalement résolus. Alors une alternative prometteuse aux batteries Lithium-ion serait la pile à combustible microfluidique.

L'essor des piles à combustible microfluidiques

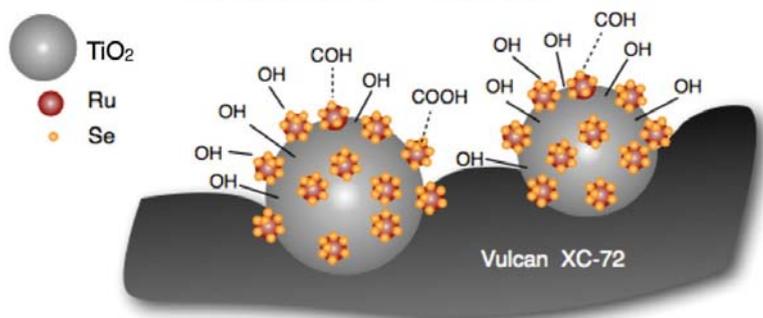
La pile à combustible microfluidique ou à écoulement laminaire (LFFC, *laminar-flow fuel cell*) est une sorte de pile à combustible récente. Elle a été développée en 2004 aux États-Unis.

Le fonctionnement de la pile microfluidique repose sur le principe physique de la microfluidique des écoulements laminaires. Des écoulements laminaires sont des fluides dont les composants se déplacent parallèlement les uns par rapport aux autres. Ainsi les composants ne se mélangent pas. La nature de l'écoulement dépend du nombre de Reynolds, qui caractérise le rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité. Un nombre de Reynolds de moins de 2000 entraîne un écoulement laminaire où les lignes de courant sont bien dessinées. Ainsi, les fluides s'écoulant à travers des canaux de dimensions micrométriques se comportent différemment des fluides macrométriques, comme ceux dans les systèmes de plomberie ou les ouragans. En bref, au niveau micrométrique, il n'existe pas de turbulences. Le comportement laminaire des fluides peut être utilisé pour remplacer la membrane physique des μ DMFCs. Les composants ou réactifs sont le combustible et le comburant et ils sont rassemblés sous forme de liquide dans le flux d'un microcanal. Les protons se diffusent à travers l'interface liquide. Le comburant (dioxygène) est dissous

Des piles à combustible microfluidiques avec de l'oxygène dissous dans l'électrolyte (photo à gauche) ou utilisant l'oxygène de l'air (schéma à droite). L'entrecroisement du combustible est montré en couleur jaune.



Adsorption des espèces organiques



Nanoparticules supportées sur un oxyde : sélénure de ruthénium (Ru_xSe_y) nanostructuré supporté sur nanoparticules de dioxyde de titane. Ces derniers sont supportés sur carbone Vulcan XC-72. Des espèces organiques s'adsorbent sur la surface des catalyseurs.

dans un électrolyte. Le combustible et le comburant passent à travers un micro-canal en forme de Y, dont les catalyseurs à base de Pt-Ru et Pt sont déposés sur graphite de chaque côté du canal pour élaborer l'anode et la cathode. Il est également possible de se servir de l'oxygène de l'air en utilisant une cathode "auto-transpirante". D'une manière similaire, le Pt-Ru oxyde le méthanol et le Pt réduit le comburant. Cependant, les LFFC utilisent la propriété microfluidique des réactifs pour éviter une barrière physique (la membrane polymérique) entre les deux électrodes. Alors, on obtient une pile à combustible sans membrane.

Ce type de pile offre plusieurs avantages sur la base de piles à combustible à membrane polymérique comme le système DMFC. Cela signifie également que les piles à combustible sans membrane sont compatibles avec quasiment tous les combustibles liquides. Hormis le méthanol d'autres combus-

tibles peuvent être utilisés, comme l'acide formique, le borohydrure de sodium ou le glucose. Mais dans ces cas-là, il faudra remplacer le catalyseur à base de Pt-Ru par le plus approprié pour l'oxydation du combustible (par exemple, du palladium pour oxyder l'acide formique)

Bien qu'on n'ait pas de membrane comme barrière physique entre l'anode et la cathode, il existe encore le problème de l'entrecroisement de combustible pour ce type de piles.

Des catalyseurs plus sélectifs : LFFC vs. MRFC

En augmentant la longueur du canal et en réduisant sa largeur, les effets de l'entrecroisement de combustible empirent. C'est un effet négatif, de sorte qu'une membrane séparatrice est nécessaire. La diminution de performance de la pile en dépend d'autant plus quand la concentration augmente.

Par exemple, avec une concentration de

10 M d'acide formique, la performance est réduite de 23 % par rapport à 5 M d'acide. Ceci est dû au manque de sélectivité du catalyseur. Le cas le plus extrême a lieu dans un système MRFC (*mixed-reactant fuel cell*) lorsque 100 % d'entrecroisement de combustible est atteint, la performance baisse quasiment de 80 % ! Pour ce système il faut un catalyseur plus sélectif que le platine. Un exemple est le « cluster » Ru_xSe_y (sélénium)

Une étude comparative de sélectivité entre des nanoparticules de platine (Pt) et Sélénure de ruthénium (Ru_xSe_y) dans un système LFFC et MRFC contenant de l'acide formique (5M) a été réalisée au LACCO qui a observé une chute de 35 % dans la performance de la pile en mode MRFC, avec le platine alors qu'avec le sélénium la performance reste quasi identique.

Cette sélectivité du catalyseur peut augmenter en jouant avec la nature du substrat de nanoparticules. En effet, la photo-déposition de nanoparticules de platine sur des nanoparticules d'oxyde de titane (TiO_2) rend ce dernier plus actif et sélectif. Le laboratoire a aussi réussi à déposer des nanoparticules de sélénium sur de l'oxyde de titane et actuellement ses propriétés électrocatalytiques sont en cours d'étude. ■

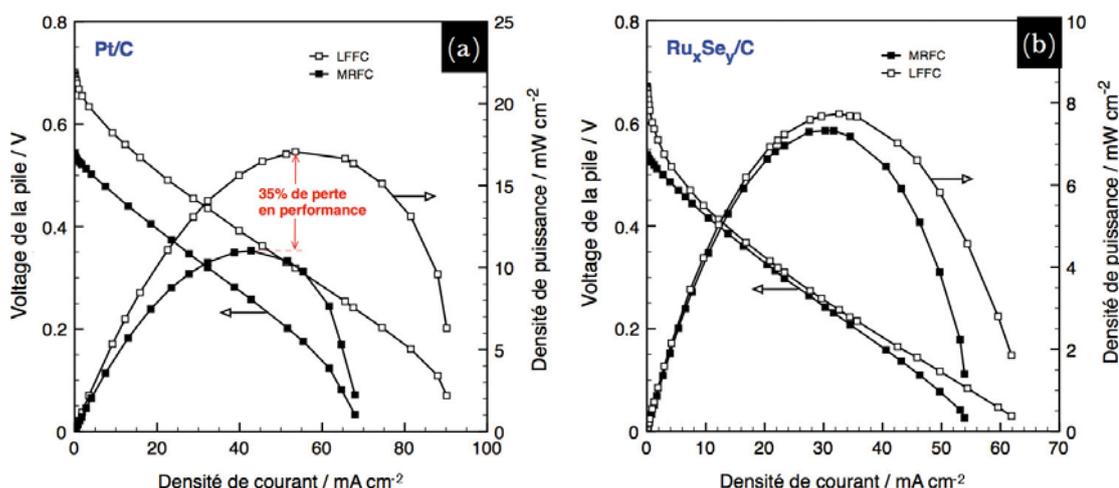
Contacts:

Aldo GAGO-RODRIGUEZ

aldo.gago.rodriguez@univ-poitiers.fr

Nicolas ALONSO-VANTE

nicolas.alonso.vante@univ-poitiers.fr



Les catalyseurs tolérants et sélectifs : Dans une pile MRFC le Ru_xSe_y montre une performance comparable au platine, une conséquence directe de la haute tolérance du chalcogène.

La déformation plastique des matériaux en mode virtuel

Les simulations atomistiques complètent aujourd'hui les études expérimentales des mécanismes de déformation des matériaux.

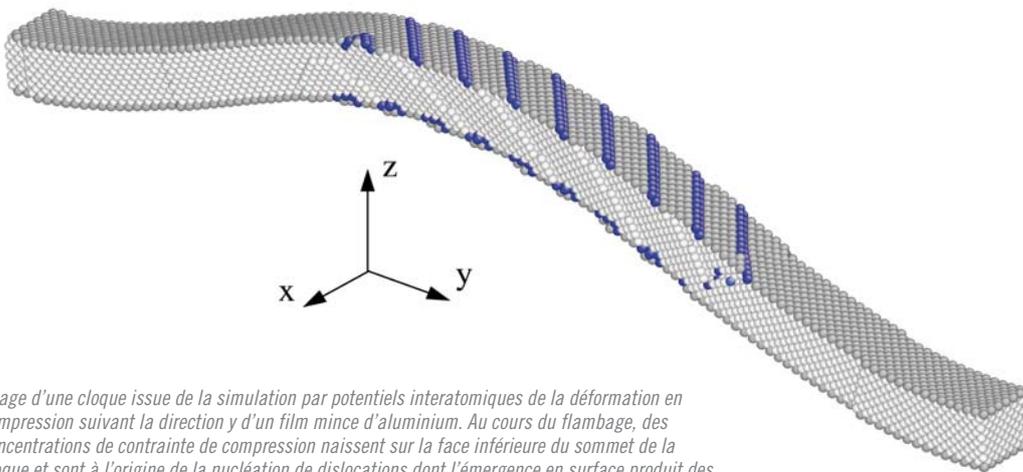


Image d'une cloque issue de la simulation par potentiels interatomiques de la déformation en compression suivant la direction y d'un film mince d'aluminium. Au cours du flambage, des concentrations de contrainte de compression naissent sur la face inférieure du sommet de la cloque et sont à l'origine de la nucléation de dislocations dont l'émergence en surface produit des marches (atomes en bleu).

Un matériau soumis à une contrainte mécanique se déforme généralement de façon élastique jusqu'à un certain point. Au-delà, la déformation devient plastique; le matériau ne revient pas dans son état initial si on relâche la contrainte. La détermination de ce seuil ainsi que des changements irréversibles induits dans le stade plastique est primordiale pour la compréhension et l'amélioration de la tenue mécanique des matériaux de structure. Pour un matériau cristallin massif, le stade plastique débute généralement avec l'activation des dislocations, des défauts singuliers très efficaces pour relaxer les contraintes subies. On peut observer divers mécanismes, tels que la formation et la mise en mouvement des dislocations, puis leur interaction entre elles et avec la microstructure du matériau. La déformation plastique est par essence multi-échelle, car le comportement macroscopique du matériau va fortement dépendre des propriétés collectives des dislocations à l'échelle mésoscopique*, mais également de leurs caractéristiques individuelles à l'échelle nanométrique. Pour

mieux comprendre la déformation plastique des matériaux, il est donc nécessaire de déterminer les mécanismes élémentaires gouvernant la formation et la mobilité d'une dislocation unique. Cependant obtenir ces informations à partir d'expériences est une tâche très difficile et le fait que les dislocations apparaissent rarement isolées constitue un obstacle supplémentaire.

Principe et domaine d'utilisation des simulations atomistiques

Il est possible de remédier partiellement à ce problème par l'utilisation de simulations atomistiques. Ce type de calculs numériques connaît un formidable essor depuis une quinzaine d'années environ, grâce à l'augmentation régulière de la puissance de calcul et au développement de codes libres. Le principe en est relativement simple: on simule le comportement de la matière en fonction de conditions thermodynamiques données (température, pression, etc.) en calculant les déplacements de chaque atome au cours du temps. Ceci suppose la description des interactions

inter-atomiques, laquelle est généralement effectuée de deux façons: soit à partir d'un potentiel analytique ou numérique ajusté pour reproduire certaines propriétés du matériau choisi, soit à partir de la structure électronique calculée. La première approche permet actuellement de simuler des systèmes comprenant jusqu'à plusieurs millions d'atomes, ce qui équivaut environ à un cube de matière de quelques dizaines de nanomètres de côté. La précision obtenue n'est toutefois pas toujours satisfaisante. La seconde approche donne de meilleurs résultats, mais requiert une puissance de calcul bien supérieure qui limite les simulations à des systèmes de l'ordre de quelques centaines d'atomes. Malgré les limitations, ces deux approches complémentaires permettent d'étudier des configurations de plus en plus réalistes.

De nombreuses applications possibles

Des simulations atomistiques sont réalisées au sein du Département de Physique et de Mécanique des Matériaux de l'Institut P' (UPR CNRS) afin de déterminer le comportement sous contraintes de systèmes de taille nanométrique et les propriétés de dislocations individuelles. Par exemple, des travaux sont actuellement menés afin d'analyser la réponse sous contrainte de films minces supportés, qui sont largement utilisés dans des domaines variés tels que la micro-électronique. À cause de contraintes accumulées au cours de l'élaboration, des structures de cloques issues d'une décohésion et du flambage du film peuvent apparaître. Des simulations en dynamique moléculaire ont permis de montrer que des événements plastiques pouvaient survenir dans un film flambé d'aluminium et que, dans

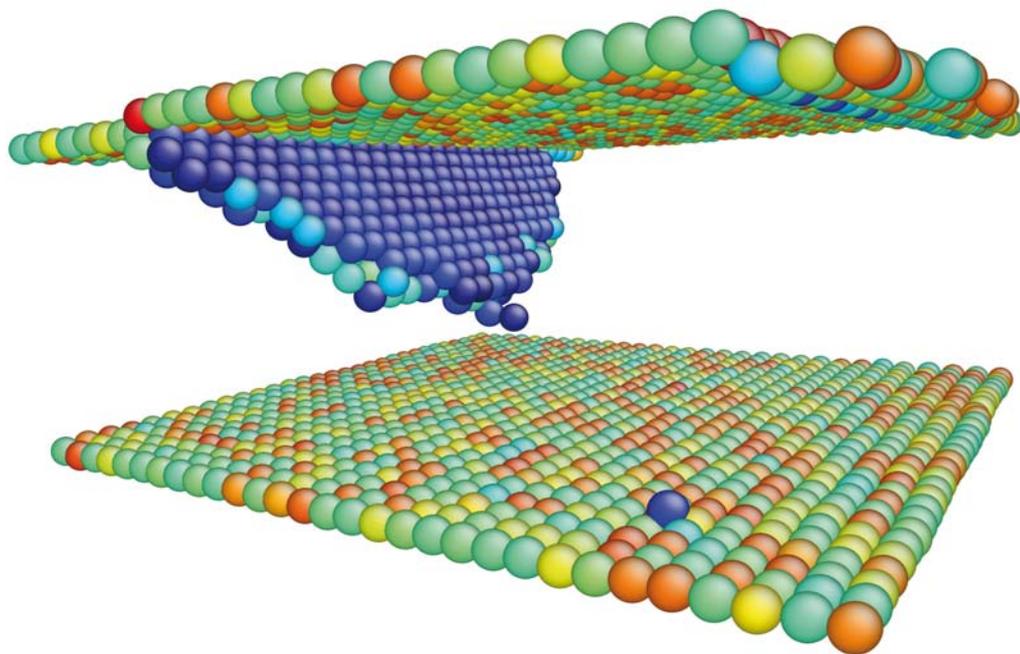
* Échelle intermédiaire entre les échelles microscopique et macroscopique.

ce cas, les modèles élastiques des milieux continus souvent utilisés étaient alors insuffisants pour décrire correctement ce phénomène à l'échelle nanométrique.

L'analyse fine de l'apparition des événements plastiques montre que ces derniers sont en fait associés à la nucléation et à la propagation de dislocations à partir des surfaces. De tels processus deviennent prépondérants pour des systèmes de taille nanométrique, où le rapport surface/volume n'est plus négligeable. La caractérisation complète du mécanisme de nucléation est donc souhaitable. Grâce à des simulations atomistiques, il a été possible de suivre au cours du temps les différents stades de la formation d'une boucle de dislocation à partir d'une surface dans le cas d'un matériau métallique sous contrainte. D'un point de vue prédictif, la possibilité de faire varier facilement la température, la contrainte et la géométrie de la surface dans les simulations nous permet de déterminer dans quelles conditions la formation d'une dislocation devient favorable.

En plus de la capacité à reproduire de façon réaliste la dynamique d'un système, les simulations atomistiques sont également utiles pour déterminer des quantités intrinsèques d'un matériau qui sont quasiment inaccessibles par l'expérience. On peut citer comme exemples les résistances maximales au cisaillement ou en traction d'un matériau parfait, c'est-à-dire ne contenant aucune impuretés ni défauts de structure. De telles quantités peuvent être obtenues avec une grande précision par la réalisation de simulations atomistiques où les forces entre atomes sont calculées à partir de la structure électronique. Dans le cas d'un matériau covalent comme le silicium, où la cohésion est assurée par des liaisons atomiques fortes et directionnelles, nous avons ainsi pu déterminer que le cisaillement maximum avant rupture était de l'ordre de 24 %, soit une résistance maximale au cisaillement de 8 GPa.

Les simulations atomistiques sont donc un complément intéressant à l'expé-



Formation d'une boucle de dislocation (sphères de couleur bleue) à partir d'une surface d'aluminium, obtenue à partir de calculs de dynamique moléculaire. Seuls les atomes dans un environnement différent du système massif sont représentés.

rience pour l'étude de la déformation plastique des matériaux. L'augmentation des performances des moyens de calculs devrait permettre de simuler dans le futur des configurations de plus en plus réalistes, plus proches des systèmes expérimentaux. ■

Contacts:

Laurent PIZZAGALI

Laurent.Pizzagali@univ-poitiers.fr

Sandrine BROCHARD

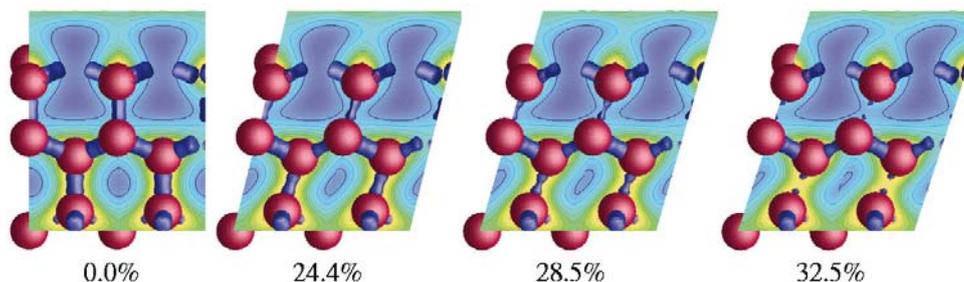
Sandrine.Brochard@univ-poitiers.fr

Julien GODET

Julien.Godet@univ-poitiers.fr

Julien DURINCK

Julien.Durinck@univ-poitiers.fr



Variation de la densité électronique (du plus faible au plus intense, du bleu au jaune) au cours du cisaillement du silicium (sphères rouges et liaisons entre atomes en bleu foncé), déterminée par un calcul de structure électronique réalisé avec la théorie de la fonctionnelle de la densité. Pour les forts cisaillements, on observe un affaiblissement de certaines liaisons entre atomes.

HANSI

ou la construction d'une identité alsacienne francophile

Connaissez-vous l'Alsace ? Ses cigognes accrochées aux toits des maisons, ses enfants aux traits poupons revêtant la traditionnelle coiffe alsacienne, ses villages pittoresques, toutes ces images font partie de notre imaginaire, de notre identité nationale. A l'origine de cette représentation, un artiste : Jean Jacques Waltz.

Né en 1873 à Colmar, Jean Jacques Waltz dit Hansi (diminutif allemand de son nom allemand Hans Jacob) est un caricaturiste et artiste alsacien renommé du 20^{ème} siècle. Né dans une Alsace-Lorraine alors Reichsland allemand, le jeune Jean Jacques suit une scolarité au collège allemand de Colmar dont il

conserve de très mauvais souvenirs en raison d'un conflit avec son proviseur, Gustav Gneisse. Caricaturé, celui-ci deviendra le *Professor Knatschké*. L'artiste réutilise alors son histoire personnelle pour militer en faveur d'une Alsace francophile et érige l'humour en arme de destruction.

Le sujet "Hansi et la caricature" se situe parfaitement dans le cadre des études interdisciplinaires à la MSHS de Poitiers (CNRS / Université de Poitiers). Une double lecture peut être faite : tout d'abord historique, avec la mise en scène des conflits entre la France et l'Allemagne avant 1914 et la question de l'identité alsacienne ; artistique ensuite, avec en filigrane, la question des modes d'expression de la culture populaire véhiculés par la presse et les albums illustrés.

Le *Professor Knatschké* ou l'Allemand systématisé

En les représentant sous des traits malingres, recroquevillés, malsains, Hansi définit une « germanité moyenne ». Leurs lunettes, monocles ou pince-nez leur donnent un regard borné, affolé et égaré tandis que les chignons des femmes symbolisent l'austérité, la niaiserie et le mauvais goût prussien. Raide et manquant de fantaisie, l'Allemand est ainsi différencié de l'Alsacien. Mis en scène, il devient l'étranger en terre alsacienne, sa présence une offense à l'Alsace. Le *Professor Knatschké* devient ainsi le symbole de cette Allemagne et de ses cercles pangermanistes. Le professeur,



à l'instar du militaire, du gendarme ou de l'agent administratif est ridiculisé. Le but, combattre la doctrine pangermaniste qui souhaite faire de l'Allemagne une puissance mondiale.

Les falsifications historiques d'Hansi

Pour disqualifier l'Allemand, Hansi dénonce également la présence germanique en Alsace en réécrivant l'Histoire. Pour le dessinateur, le prédateur n'a pas changé depuis l'Antiquité. Les barbares sont les ancêtres des Prussiens de 1870. Besicles, casque à pointe et pilosité rousse permettent déjà d'identifier et de démystifier l'Allemand.

L'Alsace francophile, une image d'Épinal

En transparence, Hansi cherche donc à dépeindre une Alsace tricolore et



idéale. Les Allemands deviennent ainsi les faire-valoir de ce message que le caricaturiste véhicule. Aux couleurs grisâtres des vêtements allemands répondent des couleurs vives. Aux visages émaciés répondent des faciès réjouis, joyeux et poupons. Hansi dresse le portrait d'une Alsace différente de l'Allemagne, une Alsace qu'il souhaite française.

Fils de son temps, Hansi réutilise son histoire personnelle pour combattre l'Allemagne et son pangermanisme. Sa caricature dresse le portrait d'une Alsace francophile où l'Allemand est l'étranger. En mettant en scène l'Autre, Hansi construit une identité alsacienne idéale et tricolore.

Hansi au regard de l'Histoire

1939, la guerre recommence. Pour Hansi, le nazisme procède du pangermanisme. Son travail de polémiste et de résistant à l'Allemand, mis entre parenthèses durant l'entre-deux-guerres, est réactualisé. Poursuivi par les nazis qui brûlent ses livres, il se réfugie en Suisse où il peut désormais attaquer le Troisième Reich. La guerre terminée, son œuvre connaît de nouveau le succès et institue l'image d'une Alsace éternelle, intemporelle et figée. Toutefois, dans le contexte de la réconciliation et de la construction européenne, l'œuvre d'Hansi est critiquée.

La fin de la guerre

À l'issue de la Seconde Guerre Mondiale, les œuvres d'Hansi sont décriées pour leur parti pris germanophobe. À l'heure de la construction européenne, certains dénoncent l'antigermanisme de Jean Jacques Waltz, trop « antiallemand » à un moment où se construit l'Europe. Ces caricatures développant une certaine mythologie patriotique apparaissent désormais en décalage avec le processus de réconciliation franco-allemand. Pour avoir souhaité une Alsace francophile libérée du joug allemand, Hansi se voit également accusé d'avoir voulu purifier l'Alsace et d'avoir été proche des cercles nationalistes. Hansi est alors, à l'occasion, dépeint comme le maître du dessin raciste, le précurseur d'une idéologie nazie qu'il a pourtant combattue.

A ces attaques, l'historien se doit de replacer l'œuvre de l'artiste dans son contexte historique pour mieux expliquer la portée de l'œuvre publiée. Néanmoins, il apparaît qu'Hansi, à travers ces caricatures, a offert un visage partial et idyllique de l'Alsace.

Considéré pour beaucoup comme le faussaire de l'identité alsacienne, Hansi a contribué à former un imaginaire auprès des Français de ce qu'était l'Alsace, les Alsaciens ayant du mal à se débarrasser de cette image. Hansi cesse



© Hansi, L'Alsace heureuse, éd. 1919.

d'être un témoin de son époque mais comme le complice d'une entreprise de brouillage de l'identité alsacienne. Aussi, la caricature de l'artiste sera-t-elle vivement attaquée au lendemain d'une Seconde Guerre Mondiale où les nazis ont chèrement fait payer à Hansi son œuvre.

Comme le résumera Pierre-Marie Tyl dans son ouvrage « Le grand livre de l'oncle Hansi », celui-ci « est accusé par les historiens d'avoir présenté une Alsace mythique adaptée à l'idéologie de la Revanche et d'être à l'origine du malentendu qui a surgi après la victoire de 1918 entre le gouvernement français soucieux d'effacer près d'un demi-siècle d'occupation allemande et les Alsaciens jaloux de leur spécificité régionale ». ■

Contacts:

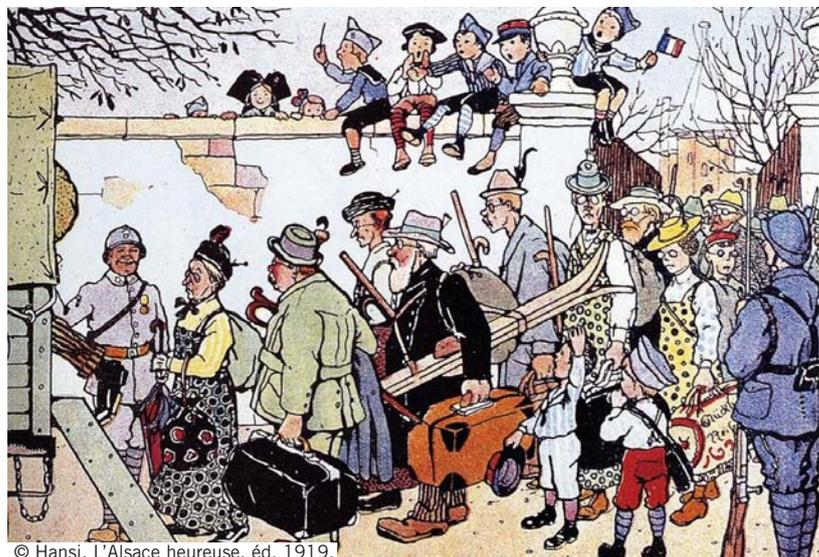
Solange VERNIS

Solange.vernois@univ-poitiers.fr

Vincent THELLIERE

Vincent.thelliere@univ-poitiers.fr

Les illustrations de cet article sont reproduites avec l'aimable autorisation du Musée Hansi de Riquewihr.



© Hansi, L'Alsace heureuse, éd. 1919.

Parfois même les animaux sauvages reconnaissent la sainteté des hommes. Sur une peinture de la crypte de l'église Saint-Savin, les lions (?) lèchent les pieds de Savin et de Cyrien qui leur sont jetés en pâture.



© CNRS/CESCM Poitiers

Le miracle au Moyen Âge

Les miracles sont un objet d'étude historique depuis plusieurs décennies. Au-delà de leur sens pour la foi des fidèles, les historiens explorent leur fonction sociale, voire politique et même économique.

En France, une impulsion pour les études sur le merveilleux et le miraculeux eut lieu dès les années 1970. S'en suivirent des études fondamentales ou des travaux collectifs, dans un esprit comparatiste. D'autres ouvrages et colloques sur le thème plus large de la sainteté ont jeté un éclairage nouveau sur les aspects sociétaux des miracles et de leur mise par écrit

Selon sa définition médiévale, le miracle est un fait qui n'obéit pas à la nature – ou qui suspend l'ordre de la nature –, que l'on attribue à la toute-puissance divine (Gervais de Tilbury, *Divertissements pour un empereur*, 1214-1215). Il s'agit d'un fait rare, exceptionnel, qui suscite l'admiration, et qui serait l'œuvre de Dieu. Pour les chrétiens, ce sont les miracles du Christ puis ceux des apôtres qui en constituent les exemples les plus éclatants; mais dès le IV^e siècle est attestée la croyance au

pouvoir thaumaturgique des saints vivants, puis de leurs reliques, avant tout de celles des martyrs.

Le premier recueil de miracles fut inséré dans la *Cité de Dieu* (vers 420) de saint Augustin, évêque d'Hippone. Il a ressenti le besoin de faire connaître au plus grand nombre les miracles qui se sont opérés dans l'Église de Carthage. À peu près à la même époque (vers 425) fut rédigé un important recueil de miracles de saint Étienne à Uzalis (Tunisie actuelle), où les reliques du premier martyr sont arrivées à la suite de leur invention en 415, près de Jérusalem. Désormais on assista à l'essor du genre du recueil de miracles.

Un instrument de propagande

À l'époque paléochrétienne, les miracles servaient à convertir les païens, par la démonstration du pouvoir thaumaturgique des saints chrétiens, supérieur à

celui des divinités païennes. C'est ainsi que saint Pierre aurait ressuscité un hareng mis à sécher à Rome. Il le prit et dit au peuple: « *Si vous voyez maintenant celui-ci nager comme un poisson, pourrez-vous croire en celui que je prêche?* » Jeté dans le bassin, le poisson se mit à nager. Cet événement fut suivi de la conversion du peuple (*Actes apocryphes de Pierre*, fin II^e-début III^e s.). Un épisode des *Actes apocryphes de Philippe* (2^e moitié du IV^e-1^{ère} moitié du V^e s.) est encore plus explicite. L'apôtre fut défié devant un garçon mort. La foule s'écria: « *Si un dieu est en lui, assurément il ressuscitera le mort, et nous-mêmes croirons en lui et brûlerons les temples et les idoles que voici.* »

Progressivement, les miracles opérés par les reliques l'emportaient quantitativement et qualitativement sur les miracles des saints vivants. On imaginait que, par l'action divine, l'âme excep-

tionnelle des saints empreignait leur corps d'une force (*virtus*), qui même après leur mort y restait vivante et capable d'opérer des guérisons et d'autres miracles. De cette façon, la possession des reliques constituait une sorte de réservoir de puissance surnaturelle, en attirant les pèlerins auprès des tombeaux des saints et d'autres châsses. Bien évidemment, la renommée des miracles devenait un excellent instrument de « propagande » pour les monastères et les églises. De même, pour les rois, empereurs et d'autres princes laïcs, rassembler des reliques de grande valeur dans un centre de pouvoir (Constantinople, Paris) était considéré à la fois comme un gage de protection céleste et un moyen de rehausser le prestige de leur propre pouvoir. C'est pour cette raison que, dès le V^e siècle et jusqu'à la fin du Moyen Âge, les princes laïcs ont été souvent à l'initiative des acquisitions de reliques. L'exemple le plus connu est l'obtention (rachat) par le roi Louis IX des reliques de la Passion du Christ, que l'empereur latin de Constantinople a mises en gage auprès des Vénitiens.

Si la grande majorité de miracles par les reliques concerne les guérisons et des sauvetages, ou encore la protection,

voire la victoire militaire, d'autres n'ont pour fonction que la révélation de la sainteté par des phénomènes exceptionnels. Ce sont les miracles de glorification : la lumière qui apparaît au-dessus des reliques oubliées ou cachées d'un saint ; l'odeur suave qui émane d'un saint corps, ou encore son aspect vivant, non corrompu, signe qui préfigure le corps glorieux des justes au Paradis après le Jugement dernier. Les miracles de châtiement – particulièrement nombreux avant le XII^e siècle – mettaient en scène des punitions (maladies, mort) qui frappaient ceux qui ne s'y conformaient pas, et ceux qui ne croyaient pas aux miracles. Ils devaient inspirer le respect de l'Église, de ses desservants et de ses biens.

Un reflet de la vie quotidienne

Pour l'historien, les recueils de miracles représentent une mine de renseignements sur des aspects très divers de la vie au Moyen Âge. Ils abondent en détails sur la vie quotidienne, les maladies, les pratiques religieuses, les relations sociales et familiales. Il est essentiel de les étudier dans leur contexte de production : l'écriture des récits de miracles reflète des stratégies « politiques » d'un monastère, d'une



© Brouard CNRS/CESCM Poitiers

Ce bas-relief représente l'invention miraculeuse du tombeau oublié du martyr Aventin (+ vers 800), grâce à un taureau qui cessa de paître et gratta autour de la pierre tombale. Eglise Saint-Aventin (Haute-Garonne), mur extérieur de la nef.

église, pour relancer un culte qui s'étiolait, pour rivaliser avec un monastère concurrent, pour légitimer la sainteté d'une personne, voire pour authentifier une « invention » (découverte) de reliques. En tant que genre littéraire, le récit de miracle véhicule des clichés, des scénarios stéréotypés dont l'étude rend possible d'identifier la transmission des traditions, voire les échanges culturels entre établissement religieux. Pour le concept de sacré, le miracle représente également un terrain d'observation exceptionnel. On croyait que le pouvoir surnaturel des reliques se manifestait avec plus d'intensité à certains moments, en particulier lors de leurs translations (transports d'un lieu à l'autre, ou tout simplement changement de leur réceptacle, châsse), et aussi lors de leurs ostensions (expositions à la vue des fidèles, souvent selon un cycle septennal à la fin du Moyen Âge).

L'attente du miracle ne se cristallisait pas uniquement autour du culte des saints et des reliques. Pour la protection d'eux-mêmes et de leurs biens ainsi que pour la guérison de certains maux, les hommes et femmes médiévaux recouraient aussi à des formules verbales (« charmes ») ou à des objets-amulettes, dont l'usage est resté en vigueur parfois jusqu'à nos jours. ■

Contact :

Edina BOZOKY

edina.bozoky@univ-poitiers.fr

Centre d'Etudes Supérieures

de Civilisation Médiévale - Poitiers



© Courbières-Durand CNRS/CESCM Poitiers

Selon une légende tardive, saint Eloi aurait coupé le pied d'un cheval rétif pour le forger, puis l'a remis en place. Eglise de Plaincourault (Mérygn), peinture murale.

Si on parlait

CHIMIE!

**Animations, conférences, ateliers,
visites, débats...**

*Vous avez un projet pour 2011 ?
Vous souhaitez participer avec votre établissement ?
Ou connaître les prochaines manifestations ?*

Contact :

Communication@dr8.cnrs.fr



www.chimie2011.fr

Conception graphique et réalisation : CNRS, juin 2010 - © CNRS Photothèque - © Marsy, Maksim Shmeljov - Fotolia.com



www.cnrs.fr

Pour en savoir plus :
www.cnrs.fr/centre-poitou-charentes



Année internationale de la
CHIMIE
2011