NUMÉRO 58

JUIN 2009

MICROSCOOP

LE JOURNAL DU CNRS

EN DÉLÉGATION CENTRE POITOU-CHARENTES



> HISTOIRE
La Touraine, berceau des biotechnologies ?



> CHIMIE
Les agroressources, de la plante à l'actif



> BIODIVERSITÉ
Littoral charentais et diversité biologique



> LABO EN DIRECT

L'iPHEP lève le voile sur notre lointain passé

édito

Microscoop
Numéro **58**
juin 2009

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
Hélène Aguogue, Edina Bozoky, Sébastien Busson, Valérie Coronas, Valérie David, Stéphane Ducrocq, Christine Dupuy, Henri Fauduet, Fabrice Gaillard, Samuel Guillot, Charles de Izarra, Jean-Jacques Jaeger, Julien Lejeune, Mohamed Malki, Claire Marchand, Irena Milosevic, Marie-Louise Saboungi, Sébastien Serieye, Patrick Vignaud, Hervé Watier

Création graphique
www.enola-creation.fr

Imprimeur
Imprimerie Nouvelle

ISSN 1247-844X



Photo de couverture
Fouilles sur les sites à hominidés du Nord Tchad



Ce second numéro de l'année aborde divers sujets scientifiques démontrant la richesse, mais aussi la qualité des thématiques traitées dans notre délégation.

Nous commencerons par l'Institut international de paléoprimatologie, paléontologie humaine, évolution et paléoenvironnements (iPHEP). Le laboratoire poitevin est à l'honneur. Il est en effet au cœur de l'actualité en raison de la découverte récente d'une nouvelle forme de primate au Myanmar qui renforce l'hypothèse d'une origine asiatique des singes anthropoïdes.

De plus, un membre du laboratoire, Mathieu Schuster, lauréat de la médaille de bronze du CNRS en 2008 s'est vu remettre cette distinction début mai, tout comme Stéphane Mazouffre, physicien à l'Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement (ICARE) à Orléans. C'est enfin Ludovic Thilly, enseignant chercheur au laboratoire de Physique des Matériaux (PHYMAT) à Poitiers, qui s'est vu décerner la Médaille Jean Rist par la Société Française de Métallurgie et de Matériaux. Ces trois chercheurs méritent toutes nos félicitations.

Le journal se poursuit ensuite avec le nouveau rubriquage initié dans le numéro d'avril 2009. Celui-ci devrait permettre une meilleure visibilité des articles selon leur appartenance à des domaines scientifiques particuliers.

Dans le domaine de la physique, deux thèmes sont abordés. Le premier nous immerge dans le domaine des émulsions nano-structurées qui ont d'importantes applications à l'interface des industries cosmétiques, agroalimentaires et pharmaceutiques. La mise en place et la structure des émulsions y sont clairement présentées. Ensuite, dans un domaine différent, nous abordons une technique relativement ancienne, l'ombroscopie. Les premières images d'ombroscopie ont été publiées en 1780. Toutefois, elles reviennent au goût du jour dans des secteurs à la pointe des technologies comme la physique des plasmas.

Dans un registre différent, un article nous révèle des détails sur la structure interne du manteau terrestre et apporte des explications sur sa conductivité électrique et l'implication des volcans dans la libération de CO2 dans l'atmosphère. Ce problème de CO2 peut nous ramener à l'utilisation des ressources fossiles comme carburant avec tout ce que ça entraîne comme soucis environnementaux. Un article sur les agroressources nous montre des solutions alternatives.

En ce qui concerne notre santé, une étude fait le point sur l'histoire des cellules souches et des dernières découvertes scientifiques dans ce domaine. Leur mise en évidence récente dans le cerveau suscite un énorme espoir dans le traitement de maladies neuro-dégénératives.

Un autre article nous présente la biodiversité fabuleuse du littoral charentais, sa fragilité et son importance pour l'environnement et les activités humaines.

Le présent numéro se termine par deux articles dans la rubrique histoire. Le premier montre l'histoire de la vaccination en Touraine, avec en particulier l'existence du plus grand institut vaccinal d'Europe situé à Tours au début du XX^{e} siècle. Le second, nous ramène aux XII^{e} et XIII^{e} siècles avec l'histoire des Cathares. Un de leurs ouvrages regroupant des mythes et des croyances était qualifié de « livre secret » en raison de sa lecture réservée à certains initiés. Le contenu de ce livre nous est en partie révélé.

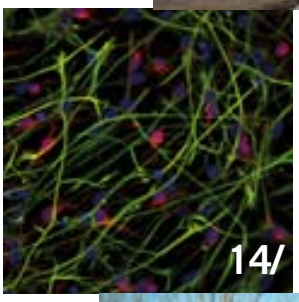
Je vous souhaite à toutes et tous une bonne lecture de ce numéro de Microscoop et j'en profite aussi pour vous souhaiter de très bonnes vacances.

Patrice SOULLIE
Délégué régional













Labo en direct
L'iPHEP lève le voile sur notre lointain passé — 4/

Distinctions
- Deux médailles de bronze du CNRS en délégation Centre Poitou-Charentes — 7/
- La Médaille Jean-Rist à un scientifique poitevin

Physique
- Des émulsions au mode nano — 8/
- L'ombroscopie ou l'examen des ombres — 10/

Géologie
Pourquoi le manteau terrestre est-il conducteur ? — 12/

Biologie
Des cellules souches dans le cerveau — 14/

Chimie
Les agroressources, de la plante à l'actif — 16/

Biodiversité
Littoral charentais et diversité biologique — 18/

Histoire
- La Touraine, berceau des biotechnologies ? — 20/
- Le livre secret des cathares — 22/


© MPFT-IPHEP 2009

Fouilles sur les sites à hominidés du Nord Tchad (7 millions d'années).

L'iPHEP lève le voile sur notre lointain passé

D'où venons-nous ? Cette question peut être posée aux scientifiques de l'Institut international de paléoprimatologie, paléontologie humaine, évolution et paléoenvironnements de Poitiers (iPHEP). Leur domaine de recherche porte sur l'origine et l'évolution de la lignée humaine. Ils travaillent sur des fossiles de nos très lointains ancêtres, un groupe de singes anthropoïdes ayant vécu il y a 57 millions d'années en Asie, sur l'émergence des hominidés en Afrique 10 millions d'années avant notre ère, leur évolution et leur sortie de ce continent il y a 2 millions d'années.

Si on s'intéresse à l'histoire de l'humanité, des historiens peuvent rapporter des événements précis fourmillant d'anecdotes. Ils peuvent décrire la création, la vie mais aussi la disparition de civilisations antiques. Mais plus on remonte loin dans notre histoire, plus celle-ci se dissout dans les limbes du passé. Que s'est-il passé il y a des millions d'années ? Là, il faut faire appel à d'autres historiens que sont les paléontologues. Les chercheurs, enseignants chercheurs, ingénieurs, techniciens et étudiants de l'iPHEP forment une seule et même équipe travaillant sur l'origine et l'évolution des primates, c'est-à-dire des anthropoïdes et des hominidés.

Deux événements clés

Les études au laboratoire ne couvrent évidemment pas tous les domaines de cette énorme chaîne de succession d'espèces ayant conduit des premiers singes connus jusqu'à l'homme actuel. Deux épisodes clés de l'évolution sont la spécialité des chercheurs. Le premier, et le plus ancien (entre 40 millions et 57 millions d'années), est l'émergence en Asie des premiers représentants de singes. Les plus anciens et les plus primitifs des anthropoïdes ont été découverts en Chine, en Birmanie et en Thaïlande. Ils y seraient apparus il y a 50 millions d'années, puis auraient migré vers l'Afrique 13 millions d'années après. Pour la découverte de ces plus anciens représentants de la lignée humaine, il ne faut pas imaginer des squelettes complets mais seulement quelques dents.

La seconde spécialité du laboratoire est l'émergence des ancêtres des hominidés, les australopithèques, il y a environ 10 millions d'années en Afrique. De 1925 à 1995, les hominidés anciens étaient uniquement connus en Afrique australe et orientale. Cette répartition des Australopithèques avait conduit Yves Coppens en 1983 à proposer l'hypothèse de la savane originelle. Notre ancêtre aurait quitté un environnement forestier pour rejoindre la savane. Ce nouvel environnement l'aurait obligé à développer de nouvelles capacités, comme la bipédie (déplacement debout).

Toutefois, ce scénario a été remis en cause par la découverte, en 1995, du premier australopithèque en Afrique Centrale, « Abel » (*Australopithecus bahrelghazali*, daté de 3,5 millions d'an-


© MPFT-IPHEP 2009

Site fossilifère de Dur at Tallah, Libye (environ 40 millions d'années).

nées). En 2001, un autre hominidé surnommé « Toumaï » (*Sahelanthropus tchadensis*) daté du Miocène supérieur (7 millions d'années) a été découvert dans le désert du Djourab, au Nord du Tchad. *S. tchadensis* possède des caractères montrant qu'il ne peut être rapproché ni des gorilles, ni des chimpanzés. Il appartient au rameau humain et son âge montre sa proximité temporelle avec le dernier ancêtre commun aux chimpanzés et aux humains. Au sein de l'iPHEP, l'étude des restes d'hominidés est complétée par des études paléoenvironnementales. Dans le Miocène supérieur du Tchad, les données sédimentologiques et paléobiologiques montrent une mosaïque de paysages. L'étude des faunes et des flores (phylogénie, taxonomie, réseaux trophiques, etc.) indique que les premiers hominidés fréquentaient des environnements boisés et non uniquement des savanes. La bipédie serait donc apparue alors que nos ancêtres hantaient encore les forêts.

Des lointains déserts au laboratoire

L'équipe de l'iPHEP va régulièrement sur le terrain pour mettre au jour et étudier de nouveaux fossiles. Leurs missions se déroulent en Birmanie, Thaïlande, Égypte, Éthiopie, Kenya, Libye, Algérie, mais surtout au Tchad. Pour trouver des fossiles, il faut localiser des bassins sédimentaires qui sont issus de conditions tectoniques particulières. L'Afrique, dans son immense majorité, est un vieux continent de plus de 2 milliards d'années ayant connu peu de bouleversements tectoniques, donc très stable. Il a conservé des bassins sédimentaires intéressants et notamment dans le Rift est-africain, un bassin d'effondrement contenant de nombreux sites fossilifères dont l'âge est compris entre 1 et 10 millions d'années.

Les missions sur le terrain durent de un à deux mois en général, dans des régions souvent reculées difficiles d'accès. Il faut compter 2 ou 3 jours de voyage pour arriver sur les sites fossilifères, idem pour le retour. Ainsi, sur une mission d'un mois, il ne reste que 3 semaines de travail effectif sur le terrain.



© MPFT-IPHEP 2009

Dents de rongeurs provenant des sites à hominidés du Nord Tchad (7 millions d'années).

Ces 3 semaines de travail nécessitent donc une importante préparation logistique : il faut louer des voitures avec leurs chauffeurs pour atteindre les sites, des camions pour le transport du matériel et le montage du camp de base, un cuisinier est embauché et la nourriture est achetée sur les marchés locaux. Une fois sur site, le temps est une denrée précieuse exploitée au maximum. Les journées de travail sont longues, de l'aube au crépuscule. Trois semaines passent relativement vite, donc tout le temps est consacré à la recherche des fossiles. Selon les pays et les accords qui ont pu être signés, les pièces sont rapportées au laboratoire pour étude.

Une simple dent peut nous révéler notre passé

Les résultats d'une mission sur le terrain sont aléatoires. Parmi la centaine de fossiles rapportés (mâchoires, dents de divers mammifères), 2 ou 3 % d'entre eux se révéleront intéressants. Ce chiffre peut sembler assez réduit, mais le reste des pièces représente une source précieuse d'informations sur l'environnement passé. Les chercheurs n'établissent pas simplement un inventaire des animaux ayant existé dans le site étudié. Ils cherchent à comprendre comment le milieu, les variations climatiques, mais aussi la nature des autres espèces, sont intervenus pour façonner les caractères anatomiques de nos ancêtres. Ils étudient les faunes associées et essayent de reconstituer leurs paléoenvironnements et les conditions climatiques.

Les fossiles sont parfois extraits de gisements en surface et certaines pièces de petites tailles sont récupérées après tamisage et tri sous loupe binoculaire. Dans un gisement birman, on estime qu'il y a une dent pour 5 kg de résidus résultant du tamisage d'environ 200 kg de sédiment ! Ces petites pièces sont très importantes pour préciser le spectre et la liste fauniques. Il y a 57 millions d'années, les premiers anthropoïdes étaient de petite taille (les dents mesurent moins de 2 mm pour un poids de l'animal de 150 à 200 g), mais possédaient déjà des caractères que nous possédons encore, comme des canines et des incisives en pelle implantées verticalement. Lorsque nous nous regardons dans un miroir le matin en nous brossant les dents, nous observons des caractères que nous possédons depuis au moins 55 millions d'années.

Dater avec précision

L'une des difficultés en paléontologie est de dater les fossiles. Pour comprendre l'évolution des êtres vivants, la mesure du temps est indispensable.

Crâne de l'hominidé "Toumaï" (Sahelanthropus tchadensis), 7 millions d'années.



© MPFT-IPHEP 2009


© IPHEP 2009

Couches fossilifères dans le bassin de l'Irrawady, Myanmar (environ 10 millions d'années).

Sans date précise, il n'y a pas de compréhension des mécanismes évolutifs. Différentes techniques complémentaires permettent aujourd'hui d'arriver à dater des objets avec un niveau de précision inimaginable. La technique la plus connue est la radiochronologie, ou désintégration nucléaire de certains éléments comme le C^{14}. Toutefois, cet élément n'est valable que jusqu'à 50 000 ans et n'est utilisable qu'avec des restes organiques ou carbonatés. D'autres méthodes nécessitent des roches d'origine volcanique. Une nouvelle technique de radiochronologie basée sur le béryllium 10, un cosmonucléide, a été mise au point à l'iPHEP. Elle permet de dater des éléments non volcaniques comme des argiles. Lorsqu'un sédiment ou une argile est en cours de dépôt, il est exposé aux rayons cosmiques. Mais une fois qu'il est enfoui, cette exposition stoppe et le béryllium 10 se désintègre sur une certaine période permettant ainsi sa mesure. Cette technique est fiable entre 1 million et 14 millions d'années. Une autre technique est basée sur l'histoire des inversions du champ magnétique terrestre. Cette méthode de datation est accessible à partir de toutes les roches sédimentaires. Le magnétisme fossile des sédiments est mesuré, permettant ainsi de préciser l'âge de ces dépôts. Enfin, une dernière méthode de datation est basée sur l'analyse de divers fossiles mis au jour avec celui que l'on souhaite dater. La faune ainsi déterminée est comparée avec celle déjà connue en d'autres sites déjà datés. Les paléontologues peuvent ordonner les faunes en fonction de leur degré évolutif. Par exemple, les cochons au cours de l'évolution ont vu la taille de leurs dents augmenter alors que chez les rongeurs, c'est le nombre de crêtes sur les dents qui a augmenté. Les êtres vivants se transforment au cours du temps de manière irréversible : l'évolution biologique constitue donc une méthode fiable pour dater. En regroupant l'ensemble des observations sur une vingtaine ou une quarantaine de taxons collectés ensemble, on obtient une fourchette d'âge assez précise. En utilisant ces diverses méthodes conjointement, les chercheurs peuvent arriver à des précisions de l'ordre de 100 000 ans sur des fossiles âgés de plus de 50 millions d'années !

Une image moderne du paléontologue

La plupart des gens, ne connaissant pas la paléontologie, imaginent un chercheur allant creuser dans le désert pour ramener des fossiles qui seront pour certains mis en vitrine dans des musées. Cette image n'est vraie qu'en partie.
Certaines techniques de datation utilisées au laboratoire sont à la pointe de la technologie. Les chercheurs travaillent avec diverses applications adaptées et issues de l'imagerie médicale (tomographie à rayons X) et de la reconstruction 3D pour déterminer certaines données anatomiques des fossiles. L'utilisation de ces techniques non invasives sur des mandibules permet d'obtenir des informations sur la position et la structure des dents manquantes. L'analyse des crânes permet de visualiser la position des sinus et des cavités cérébrales et apporte ainsi des informations clés sur la taille et la forme du cerveau. L'étude des micro-stries d'usure de la surface des dents permet de reconstituer le régime alimentaire. Cette information peut être confrontée à l'étude des isotopes stables du carbone et de l'oxygène préservés dans l'émail dentaire des fossiles étudiés, qui apportent des indications sur les paléoclimats et les paléovégétations.
L'étude des paléoenvironnements dans lesquels ont vécu nos lointains ancêtres apporte des informations capitales sur ces derniers : que mangeaient-ils ? Quelle était la faune de l'époque ? Vivaient-ils dans des environnements secs ou humides, etc. ? Ce type d'étude est complété par l'imagerie spatiale radar. Elle permet de pénétrer la couche sableuse qui recouvre quelquefois la surface du sol, et de révéler ainsi les structures des réseaux paléo-hydrographiques et des vues du sous-sol invisibles à l'œil nu.
La paléontologie du XXIe siècle est une discipline moderne à l'interface des sciences de la terre, des sciences de la vie, de la physique, de l'informatique, de la médecine et de la chimie. ■

Eric DARROUZET


© IPHEP 2009

Reconstitution virtuelle d'un crâne de primate.

Deux médailles de bronze du CNRS en délégation Centre Poitou-Charentes

À l'Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement à Orléans (ICARE – UPR 3021), Stéphane Mazouffre, physicien, travaille sur les propulseurs spatiaux à plasma et plus particulièrement sur les propulseurs à effet Hall. Ses recherches sur les phénomènes de transport ioniques et les interactions plasma-surfaces ont mis en évidence plusieurs lois de comportement et ont contribué à une meilleure compréhension de la physique de ces propulseurs. La technologie des propulseurs à plasma est stratégique pour la France et l'Europe : ils équipent les satellites géostationnaires de télécommunications et les espoirs d'application sont nombreux.



De gauche à droite, Stéphane Mazouffre, Denis Veynante, directeur scientifique adjoint de l'INST2I, Patrice Soullie, délégué régional.



Patrice Soullie, délégué régional, remet la médaille à Mathieu Schuster (à gauche).

Mathieu Schuster est sédimentologue à l'Institut international de paléoprimatologie, paléontologie humaine : évolution et paléoenvironnements (IPHEP – UMR 6046 CNRS/Université de Poitiers) à Poitiers. Cette discipline permet de reconstruire la dynamique des paysages anciens. Parmi ses premiers grands succès, un formidable travail d'équipe qui a permis la ré-évaluation de l'âge du Sahara à partir de l'identification de dunes fossiles vieilles de plus de 7 millions d'années. Ses travaux d'exploration de nouveaux bassins sédimentaires dresseront les contours des paysages de nos ancêtres.

La médaille de bronze du CNRS récompense le premier travail d'un chercheur, qui fait de lui un spécialiste de talent dans son domaine. Cette récompense représente un encouragement du CNRS. ■

La Médaille Jean-Rist à un scientifique poitevin

La Société Française de Métallurgie et de Matériaux est un point de rencontre entre tous les membres de la communauté scientifique et professionnelle "matériaux" et un moteur pour la diffusion des informations et des innovations. Chaque année, la SF2M décerne plusieurs prix dont la médaille Jean Rist, à des jeunes métallurgistes ou spécialistes de la science des matériaux, français ou étrangers, qui se sont distingués par leurs travaux tant scientifiques qu'appliqués sur les matériaux. En 2009, ce prix a été attribué à Ludovic Thilly, Maître de Conférences à l'Université de Poitiers et membre du Laboratoire de PHYsique des MATériaux à Poitiers (PHYMAT, UMR 6630 CNRS/Université de Poitiers) pour ses travaux sur la plasticité des matériaux nanostructurés : l'originalité de ses travaux réside dans l'utilisation des grands instruments (synchrotrons et sources neutrons) pour développer des techniques innovantes de déformation *in situ* sous neutrons et rayons x de haute énergie. Des retombées futures sont possibles dans les domaines des matériaux optimisés pour bobines champs magnétiques intenses, des conducteurs supraconducteurs optimisés pour les prochaines générations d'accélérateurs de particules (type LHC), et des bobines imagerie IRM, RMN. ■



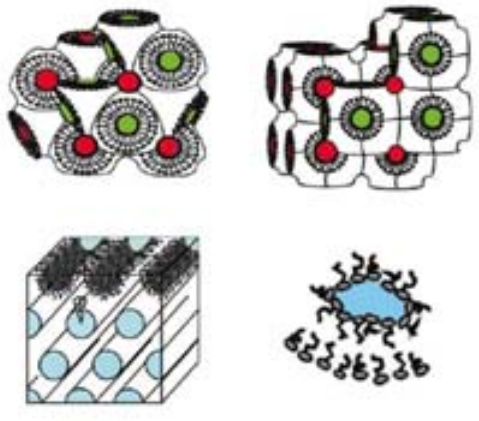
Bruno DUBOST, Vice-Président de la SF2M, a remis la médaille Jean RIST 2009 à Ludovic THILLY (à droite)

Des émulsions
au mode nano

Le monde des émulsions connaît un renouveau sans précédent depuis la découverte de phases nano-structurées émulsifiées à mi-chemin entre particules rigides et gouttelettes d'émulsions classiques.

L'équipe « Matériaux Complexes Confinés » (MCC) du Centre de Recherche sur la Matière Divisée (CRMD - UMR 6619 CNRS/Université d'Orléans) développe depuis 2006 ce nouveau thème des émulsions nano-structurées ou Isasomes. Notre but est de concevoir ces particules pour des applications au carrefour des industries agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique.

Avant de s'intéresser aux émulsions nano-structurées, l'équipe MCC a récemment développé un axe de recherche concernant les biomatériaux, qui a débuté par l'étude de l'encapsulation de principes actifs dans des nanostructures poreuses (silice mésoporeuse). L'idée est de poursuivre cette démarche avec un nouveau type de matériau divisé dit *mou*, biocompatible, biodégradable par nature, pouvant être mis en forme plus facilement, moins coûteux, tout en respectant l'environnement.



Exemples de mésophases lipidiques, d'après M. Caffrey (les zones bleues, rouges et vertes correspondent aux canaux d'eau).

Les émulsions sont des dispersions étudiées depuis fort longtemps ; elles peuvent être naturelles (lait, film hydrolipidique) ou élaborées (vinaigrette, mayonnaise, crèmes hydratantes, bitumes, peintures). Idéalement, il s'agit d'une phase liquide finement dispersée dans une autre, les deux étant non miscibles. Ce système simple (de l'huile, de l'eau, des molécules tensioactives savamment choisies et un soupçon d'énergie pour disperser le tout) n'est pas thermodynamiquement stable, et la réussite de la formulation tient dans le choix de l'émulsifiant et de la phase continue par l'homme du métier. Pour rendre ces systèmes plus attractifs à la fois pour la recherche fondamentale et les industries, l'idée est de former des structures stables à l'intérieur des gouttes d'émulsion. Le CRMD élabore et étudie donc ces matériaux complexes à structures confinées que sont les Isasomes, particules d'avenir, et les utilise pour la délivrance de principes actifs.

Les *Isasomes*, des émulsions à une phase près

La solubilisation de molécules amphiphiles dans l'eau s'accompagne de la formation de structures plus ou moins organisées. Notamment certains lipides, dits structurants, s'auto-assemblent lorsqu'ils sont associés avec de l'eau ; ils forment des phases de type cristal liquide (mésophases lipidiques) en fonction de la quantité d'eau ajoutée. Ces phases peuvent être cubiques, éponges, lamellaires, hexagonales ou micellaires. On trouve d'ailleurs de telles organisations dans des systèmes biologiques (mitochondries, photosomes, membranes).

Certaines de ces mésophases peuvent être dispersées sous forme de particules de tailles submicroniques, comprises entre 30 et 600 nm, et stabilisées par un émulsifiant. Pour l'heure, cinq phases ont pu être émulsifiées : deux cubiques bicontinues, la phase hexagonale, une phase cubique micellaire et des microémulsions. Ces particules stables sont respectivement appelées *Cubosomes®, Hexosomes®, cubosomes micellaires et microémulsions émulsifiées* (EME).

Plus généralement, sont appelées Isasomes ces particules dont l'intérieur est auto-assemblé (*Isa* pour Internally Self Assembled).

La température, la composition lipidique, la quantité d'émulsifiant et d'eau embarquée dans la structure ou l'ajout d'une molécule hôte influent sur les structures confinées, qui peuvent être sondées par diffusion de rayonnement X aux petits angles ou par microscopie électronique à température cryogénique.

Des interfaces à profusion

Les *Isasomes* sont des colloïdes capables de solubiliser différents types de molécules. En effet, ils possèdent de par leur structure interne de nombreuses interfaces, qui séparent l'intérieur en deux régions : l'une hydrophobe, l'autre étant de l'eau confinée. Cette particularité offre donc la possibilité de transporter/d'intégrer non plus uni-

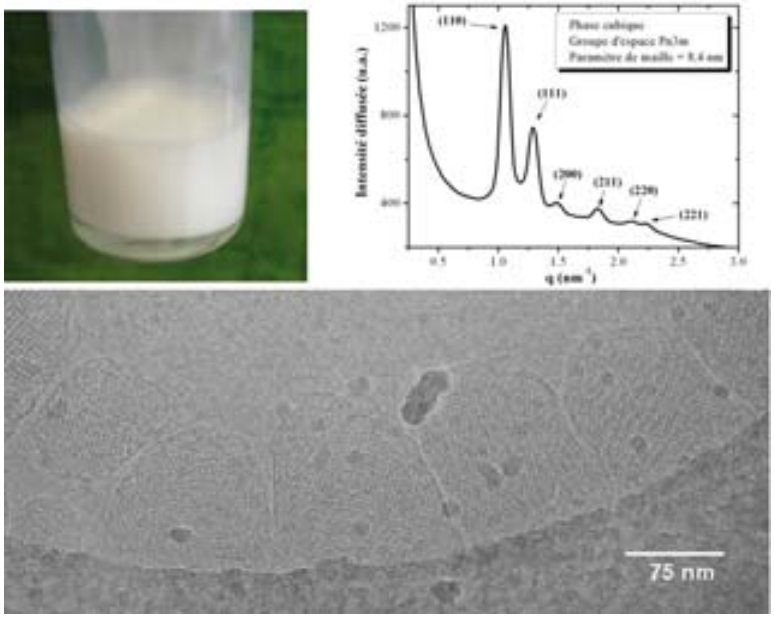


*Image d'une dispersion d'*Isasomes *(en haut à gauche) ; spectre de diffusion des rayons X aux petits angles de la dispersion montrant la présence d'une phase cubique bicontinue (en haut à droite) ; image de Cubosomes® par cryo-MET (en bas ; réalisée avec F. Livolant et J. Degrouard au Laboratoire de Physique des Solides d'Orsay grâce au réseau METSA).*

quement des espèces lipophiles, comme pour les émulsions directes classiques, mais aussi amphiphiles ou hydrophiles, ce qui confère à ces particules un intérêt certain pour de nombreuses applications. En intégrant une autre molécule dans le mélange initial lipide/eau, le chercheur peut jouer sur la courbure des interfaces et ainsi modifier la structure interne des particules. Pour une molécule hôte de type huile, la diminution du rapport lipide structurant/huile permet de moduler la dispersion de particules quasi-rigides (Cubosomes®) en des particules fluides (microémulsions émulsifiées) pour finalement aboutir à des émulsions classiques. Cette transformation, et donc le changement progressif de structure, s'opère à l'intérieur même des particules stabilisées.

Contrôler la surface des particules, un enjeu scientifique majeur

La quantité d'émulsifiant utilisée permet de contrôler la taille des Isasomes dans la gamme 30-600 nm suivant le type de structure interne. En dessous de 100 nm, ils peuvent donc recevoir la dénomination de *nanoparticules*.

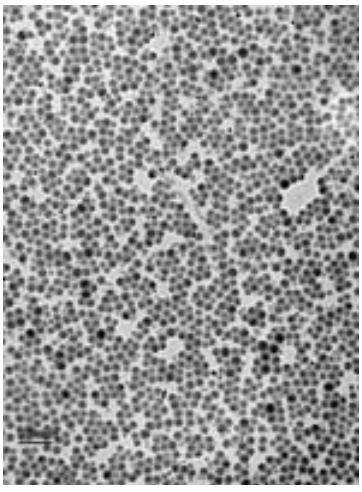
Par ailleurs, le choix de l'émulsifiant est essentiel ; il est l'élément prépondérant pour la stabilité des dispersions et dans les échanges qui peuvent intervenir entre particules. Il peut aussi interagir avec la phase interne en modulant les paramètres de maille mais aussi en induisant des transitions de phase. En conséquence, les capacités de solubilisation des agents transportés et leur diffusion peuvent être modifiées drastiquement. Pour éviter les échanges avec le milieu extérieur qui peuvent déstabiliser les structures, il faut pouvoir contrôler parfaitement la surface des particules. Ainsi, le CRMD élabore des particules plus ou moins hermétiques selon les besoins.

Des vecteurs/réservoirs pour des applications de délivrance

En pratique, ces dispersions aqueuses nano-structurées servent à encapsuler et transporter des molécules actives (vitamines, enzymes,…). La cinétique de libération des additifs est contrôlée par le type de phase choisi. La possibilité d'émulsifier de nouvelles phases étend la gamme de vecteurs disponibles, et leur optimisation en termes de vectorisation, délivrance, et distributions en taille permet de viser des applications diverses. Ainsi, une collaboration a été initiée avec le Centre de Biologie Moléculaire à Orléans (UPR 4301 CNRS), afin de valoriser ces systèmes comme nouveaux vecteurs d'agents thérapeutiques.

Par ailleurs, le laboratoire développe des matériaux intelligents pouvant répondre à des stimuli externes tels que le champ magnétique et la température. La combinaison d'un hydrogel magnétique thermosensible aux *Isasomes* permet de se servir à la fois des *Isasomes* comme réservoir de principe actif et des propriétés magnétiques pour chauffer le matériau et activer le processus de délivrance. ■

Contacts
Samuel GUILLOT
samuel.guillot@cnrs-orleans.fr
Sébastien SERIEYE
sebastien.serieye@cnrs-orleans.fr
Irena MILOSEVIC
irena.milosevic@cnrs-orleans.fr
Marie-Louise SABOUNGI
mls@cnrs-orleans.fr



*Nanoparticules obtenues par polymérisation d'*Isasomes *de type EME (image de microscopie électronique en transmission).*



L'ombroscopie
ou « l'examen des ombres »

L'ombroscopie est une technique ancienne avec laquelle on visualise les variations spatiales de l'indice de réfraction d'un milieu transparent. Largement utilisée dans le domaine de la mécanique des fluides, souvent limitée à son aspect qualitatif, elle est utilisable dans la physique des plasmas et permet d'obtenir des résultats quantitatifs complémentaires de ceux obtenus par spectroscopie optique d'émission.

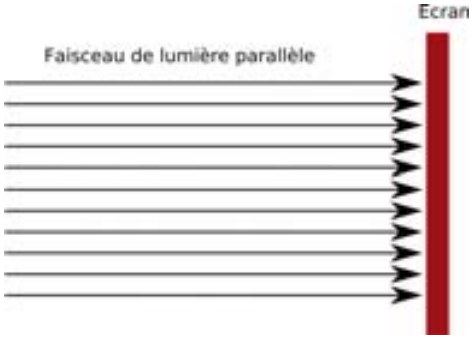
Dans le vide, la lumière se propage à la vitesse c = 299 792 km/s, et il convient de représenter ce phénomène de propagation avec le concept de rayon lumineux : un faisceau de lumière parallèle est alors représenté par des droites parallèles. Quand la lumière se propage dans un milieu matériel transparent et homogène, elle interagit avec les particules qui constituent ce milieu et se propage alors avec une vitesse inférieure à sa vitesse de propagation dans le vide. Cette variation de vitesse est quantifiée avec l'indice de réfraction du milieu, défini comme le rapport de la vitesse de propagation dans le vide avec la vitesse de propagation dans le milieu.

Quand la lumière traverse une région de l'espace dans laquelle se trouvent des variations spatiales de l'indice de réfraction, les rayons lumineux, au lieu de se propager en ligne droite, se courbent vers les zones de forts indices de réfraction. En pratique, et dans le cas des gaz, une variation d'indice de réfraction peut être produite par une variation locale de température (cas des flammes et des plasmas), ou de pression (cas pour les ondes de choc).

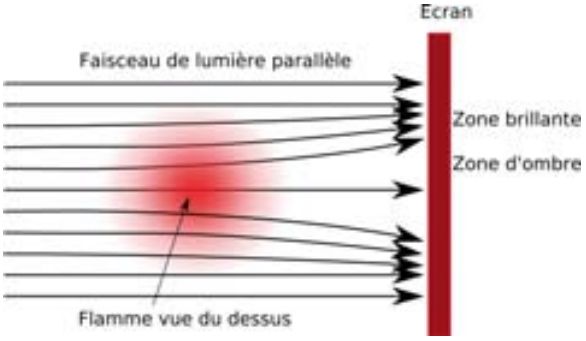
Le phénomène de création d'ombres

L'ombroscopie est une technique de visualisation des gradients d'indice de réfraction basée sur le phénomène de courbure de rayons lumineux décrits précédemment. Il suffit d'observer ce qui se passe au-dessus d'un barbecue en ayant le soleil dans le dos : au-dessus de l'ombre du barbecue projetée sur le sol, des volutes sombres apparaissent, et correspondent à des ombres créées par l'air chauffé au-dessus du barbecue. Pour mieux comprendre ce phénomène de création des ombres, considérons un faisceau de lumière parallèle qui se propage dans l'air, et qui éclaire un écran de manière uniforme. En plaçant une flamme de bougie sur le trajet de ce faisceau parallèle, le gradient d'indice de réfraction courbe les rayons lumineux vers l'extérieur de la flamme de bougie. Il en résulte une modification de la répartition d'intensité lumineuse sur l'écran, avec des zones où la lumière est en excès, et des zones où la lumière est en déficit, d'où « les ombres ».

L'ombroscopie permet de visualiser avec une très grande sensibilité ce que nos yeux ne peuvent pas observer directement. Sur une image de l'ombre d'une bougie, on distingue nettement les zones de l'air ambiant chauffées par la



Faisceau de lumière parallèle éclairant un écran de manière uniforme.



L'introduction d'un objet cylindrique (flamme par exemple) sur le trajet des faisceaux parallèles brise l'uniformité de l'éclairement de l'écran, avec des zones brillantes et des zones sombres.



Image ombroscopique de la flamme d'un brûleur à gaz. Diamètre de la buse : 5 mm. L'axe de la flamme apparaît plus brillant car la lumière n'est pas courbée par cette zone. Au niveau du cône d'injection des gaz, les faisceaux lumineux sont courbés vers l'axe de la flamme, indiquant localement une augmentation de l'indice de réfraction.

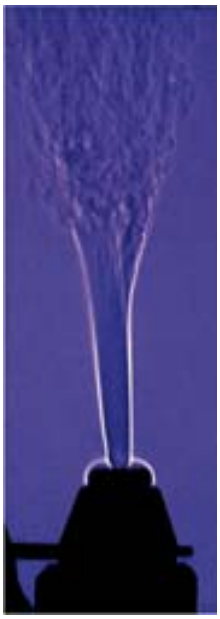


Image ombroscopique d'un jet laminaire de plasma d'argon généré avec une torche à plasma. La partie chaude du jet (température supérieure à 12 000 °C) n'est pas visible par ombroscopie. La distance entre les deux lignes verticales brillantes qui indiquent la limite du jet laminaire (température moyenne de 4 000 °C) est de l'ordre de 1 cm.

flamme. Les zones brillantes autour de l'ombre de la flamme correspondent aux zones de fortes variations de la température.

L'ombroscopie, une technique ancienne

Une expérience d'ombroscopie est facile à mettre en œuvre et ne nécessite qu'une source lumineuse et un écran de projection. Le point crucial de l'expérience est la source lumineuse, qui doit être ponctuelle afin d'émettre des rayons lumineux « qui ne se coupent pas ». Les sources lasers sont à éviter, car la superposition des faisceaux de sources cohérentes produit des franges d'interférences qui dégradent l'intensité lumineuse au niveau des zones brillantes de l'écran d'observation. Les meilleures sources lumineuses sont les lampes à incandescence ou à arc ; d'ailleurs, les premières représentations d'images ombroscopiques ont été publiées en 1780 par Jean-Paul Marat (médecin, physicien, journaliste et homme politique, député montagnard à la Convention à l'époque de la Révolution française) dans son ouvrage *Recherches physiques sur le feu, en utilisant la lumière du Soleil, et un dispositif optique appelé microscope solaire*.

L'ombroscopie au laboratoire

Une équipe du Groupement de recherche sur l'Énergétique des Milieux Ionisés (GREMI – UMR 6606 CNRS/Université d'Orléans) localisée à l'antenne de la faculté des sciences à Bourges étudie les jets de plasma d'argon et met au point des techniques de diagnostics de ces milieux portés à très haute température. L'argon est un gaz inerte souvent employé dans de nombreux procédés plasmas tels que le soudage, la projection de particules réfractaires pour réaliser des dépôts, ou encore les Plasma Guns récemment mis au point pour la médecine. Ces gaz ionisés très chauds sont le siège d'émissions lumineuses intenses utilisables pour obtenir des informations sur le milieu émissif en termes de température(s) ou de densités d'espèces. Par contre, le domaine de températures localisé entre 300 °C et 2 000 °C, qui correspond grosso modo à la montée en température d'une flamme, est difficilement mesurable avec précision, tout d'abord à cause de sa faible épaisseur, mais aussi parce que le gaz n'est pas assez chaud pour émettre suffisamment de rayonnement dans le domaine visible. C'est à ce niveau que l'ombroscopie peut se révéler utile. Qualitativement, les images obtenues avec un montage expérimental simple donnent rapidement une idée des gradients de températures. Quant à l'exploitation quantitative d'une image ombroscopique, peu de travaux ont été publiés sur le sujet, sans doute à cause des difficultés rencontrées pour traiter les données expérimentales (résolution de l'équation de Poisson sur des images de tailles importantes).

Les résultats obtenus récemment par l'équipe du GREMI sont à la fois innovants et prometteurs car ils permettent de cartographier la température du panache laminaire d'un jet de plasma d'argon avec une précision relative de l'ordre de 5 %. Il est envisagé d'appliquer cette méthode sur d'autres types de milieux plasmas étudiés au GREMI. ■

Contact
Charles de IZARRA
charles.de_izarra@univ-orleans.fr



Image ombroscopique d'une flamme de bougie perturbée par un jet d'air. J.-P. Marat « Recherches physiques sur le feu (1780) ».

Pourquoi le manteau terrestre est il conducteur ?

Les faibles résistances électriques du manteau terrestre sont dues à la présence de carbone sous la forme de carbonate fondu. Ce composé est étroitement lié à la quantité de CO_2 émis dans l'atmosphère par 80 % des volcans.

Les géophysiciens de l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO) et physiciens du Laboratoire Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation (CEMHTI) concluent que le cycle profond du carbone est plus complexe que ce que prédisaient les modèles géochimiques. Ces travaux ont été financés par un programme ANR jeune chercheur.

Le manteau terrestre est compris entre la croûte (les premiers 10 à 30 km) et le noyau (~3000 km sous la surface). Le manteau dit supérieur (jusque ~500 km) est essentiellement constitué d'un silicate ferromagnésien, l'olivine, et il est divisé en deux parties : la lithosphère (du grecque Lithos « la pierre »), rigide, est la partie supérieure alors que l'asthénosphère (asthenos signifie « sans résistance »), ductile, en est sa partie profonde. La discontinuité entre les deux régions du manteau supérieur varie d'une profondeur de 70 km à 300 km. Cette « anomalie » géophysique marque la zone où la roche du manteau fond partiellement pour constituer les liquides basaltiques qui remontent vers la surface et éventuellement forment le volcanisme. Cette extraction de basalte laisse un résidu solide dépourvu de constituants volatils et mécaniquement rigide : la lithosphère. L'asthénosphère est la partie plus profonde du manteau qui n'a pas subi d'extraction de basalte ; elle est donc ductile et riche en constituants volatils.



© Hannes Matsen, ETH, Zurich

Le Oldoinyo Lengai (Tanzanie) avec ses coulées de carbonatites, en blanc sur le sommet.

Les differents vecteurs de carbone dans le manteau : basaltes, carbonatite, diamant.







Olivine



Une réserve de carbone en profondeur

Les géochimistes ont longtemps soutenu que le manteau, de part sa taille, est le plus important réservoir de carbone terrestre. Ce consensus n'était cependant étayé que par très peu de preuves directes et il était difficile à corréler avec la modeste quantité de CO_2 dans les magmas du manteau, les basaltes. De plus, la forme chimique sous laquelle se trouve ce carbone mantellique reste ambiguë. Les volcans émettent du CO_2, la forme oxydée du carbone. Certaines roches du manteau contiennent cependant du carbone sous sa forme réduite (C) que tout le monde connaît sous le terme de diamant. Enfin, il existe une phase méconnue de carbone mantellique, que les géologues appellent les carbonatites. Il s'agit de carbonate fondu. Ces liquides peuvent être thermodynamiquement stables à haute pression et haute température mais il existe peu de preuves directes de leur circulation dans les roches du manteau. Ces magmas carbonatés n'atteignent la surface qu'en un seul endroit de la planète : la Tanzanie, dans le rift ouest africain, dans le volcan appelé Oldoinyo Lengai (littéralement « la montagne des Dieux » en dialecte Massai). Cet endroit est une particularité géologique où la croûte continentale s'est brisée il y a

quelques millions d'années et où, très vraisemblablement, un océan est en voie de formation. L'équipe orléanaise apporte la preuve que les laves carbonatées du Lengai ne sont pas si exceptionnelles qu'on le pense mais que, bien au contraire, elles existent également sous les océans, en profondeur sous les rides médio-océanique, là où la croûte océanique se forme et où débute la tectonique des plaques. Le CO_2 émis par les basaltes au fond des océans (soit 80 % du volcanisme terrestre) serait l'expression géochimique de la présence de carbonatites dans la zone source de ces basaltes.

Les carbonates à l'origine de la conductivité électrique

Les variations naturelles du champ magnétique peuvent induire des circulations de courants électriques (dit magnétotellurique) à l'intérieur du globe. Ces circulations de courants nous renseignent sur les conductivités électriques des roches en profondeur. Une des particularités de l'asthénosphère est sa faible résistance électrique qui contraste avec le caractère isolant de l'olivine, qui est pourtant son principal constituant. Les chercheurs Orléanais ont réussi à démontrer que ces fortes conductivités s'expliquent par la présence de carbonate fondu localisé entre les grains de cristaux d'olivine en profondeur.

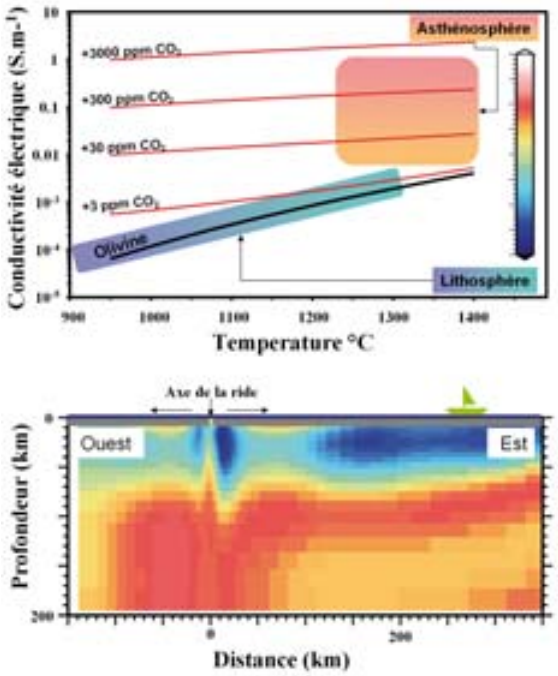
Sur la base de mesures en laboratoire à haute température, ils ont montré que ces liquides sont extrêmement conducteurs, excédant d'un facteur 1 000 la conductivité électrique des basaltes, jusqu'alors reconnus comme étant le seul conducteur potentiel dans le manteau. Les chercheurs ont montré qu'il est possible de relier la résistivité électrique de l'asthénosphère à la quantité de carbonate fondu qu'elle renferme. Ces valeurs très variables montrent que la distribution du carbone dans le manteau terrestre est hétérogène. Globalement, ils déduisent que 0,025 % du carbone sous la forme de carbonate fondu suffisent à expliquer la résistivité de l'asthénosphère. Ces chiffres, qui paraissent faibles, suffisent pourtant à expliquer la quantité de CO_2 émise par 80 % des volcans.

Les rôles des carbonates

La présence de carbonates fondus dans l'asthénosphère a très certainement des implications majeures sur la viscosité de cette région du manteau où siègent des mouvements convectifs responsables de la tectonique des plaques.

Une autre implication importante de ces travaux est que l'asthénosphère renferme du carbone sous la forme oxydée (carbonate : CO_3^{2-}), et non sous la forme réduite (le diamant). Ceci restreint les mécanismes jusqu'alors envisagés pour la formation du diamant dans le manteau terrestre. Les chercheurs émettent l'hypothèse que les diamants se constitueraient à partir des carbonates fondus à la base de la lithosphère.

Les mesures de conductivité réalisées sur les carbonates liquides pourraient trouver une application dans le domaine des énergies propres par la mise au point de piles à combustibles. Ces composés pourraient y êtres utilisés comme électrolytes. ■



En haut, effet de liquide carbonatés sur la conductivité électrique des roches du manteau d'après Gaillard et al. En bas, exemple de profile de conductivité sous la ride médio-antlantique par l'equipe américaine "MELT". En rouge, les régions conductrices qui sont reliées à la fraction de carbonate liquide dans le diagrame du haut.

Contacts :
Fabrice GAILLARD
fabrice.gaillard@cnrs-orleans.fr
(ISTO – UMR 6113 CNRS/Universités d'Orléans et Tours)

Mohammed MALKI
mohammed.malki@univ-orleans.fr
(CEMHTI – UPR 3079)



Du fait de la très faible résistance des carbonates fondus, les mesures de conductivité électrique de ces carbonates ont été réalisées à l'aide d'un dispositif expérimental spécifique conçu et réalisé au CEMHTI. Ce dispositif, basé sur la méthode dite en « 4 électrodes » permet de s'affranchir des phénomènes interfaciaux d'une part et de la résistance des fils de mesure d'autre part contrairement aux méthodes classiques en « deux électrodes ».

Des cellules souches dans le cerveau

Les cellules souches participent au maintien des tissus en fournissant des cellules pour remplacer celles perdues lors du renouvellement naturel ou lors de lésions. La mise en évidence récente de leur présence dans le cerveau ouvre de nombreux espoirs dans le traitement de maladies neurodégénératives.

Un peu d'histoire

La régénération des tissus fascine l'Homme depuis fort longtemps. Dès l'Antiquité, l'existence de processus de régénération a symboliquement été décrite dans la mythologie. Puni par Zeus pour avoir volé le feu, Prométhée avait été enchaîné au Mont Caucase pour y avoir son foie picoré par un aigle. La légende rapporte que le foie de Prométhée se régénérait. L'étude de la régénération des tissus a réellement été initiée au XVIIIe siècle par René-Antoine Ferchault de Réaumur et Abraham Trembley qui ont décrit les impressionnantes capacités de régénération des crustacés et de l'hydre. Les prémices d'un débat sur le potentiel régénérateur des cellules souches étaient alors jetées.

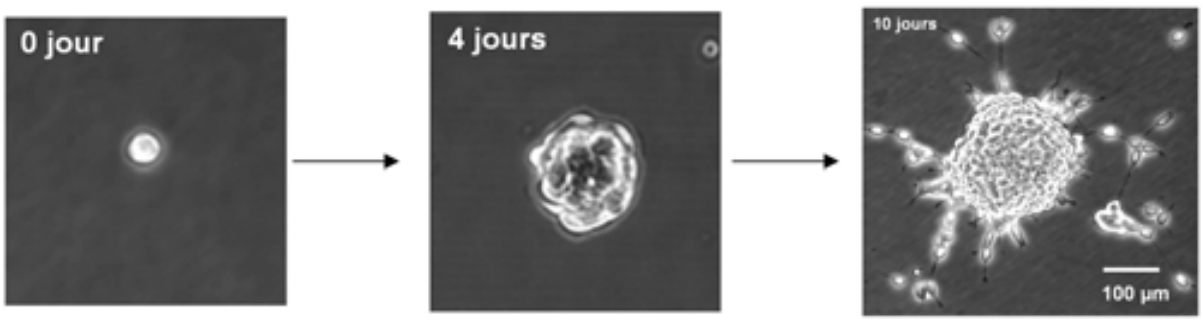
Chez l'Homme, les premières cellules souches qui ont été découvertes sont les cellules souches de la moelle osseuse qui régénèrent les cellules du sang. L'usage thérapeutique de ces cellules a été mis à l'épreuve dès les années 1950 par Georges Mathé, chercheur pionnier dans le domaine de la cancérologie et l'un des fondateurs de l'INSERM, pour soigner des physiciens yougoslaves accidentellement irradiés. Épreuve réussie puisque ces cellules ont permis à 4 sur 5 de ces patients de survivre. Les 20 dernières années ont vu un engouement croissant pour les cellules souches tant du point de vue de la recherche fondamentale que de l'espoir thérapeutique qu'elles laissent entrevoir. Mais de quoi parle-t-on lorsque l'on évoque les cellules souches ?

Qu'est-ce qu'une cellule-souche ?

Les cellules souches peuvent être schématiquement regroupées en 2 catégories :

- les cellules souches embryonnaires, appelées cellules ES. Obtenues à partir d'embryons à des stades précoces du développement, elles peuvent générer tous les types de cellules de l'organisme ; c'est pourquoi elles sont qualifiées de pluripotentes.
- les cellules souches adultes. Présentes dans les tissus de l'individu adulte, elles ne pourraient former que les cellules du tissu dans lequel elles résident. Elles sont considérées comme multipotentes voire unipotentes.

Chez l'individu adulte, les cellules souches participent au maintien des tissus en fournissant des cellules pour remplacer celles perdues lors du renouvellement naturel ou lors de lésions. Ces cellules résident dans de nombreux tissus : moelle osseuse, peau, intestin, muscle, foie, tissu adipeux… Il y a peu de temps encore, le cerveau était considéré comme un organe faisant exception à cette règle générale. On pensait que le cerveau possédait à la naissance un nombre défini de neurones, stock qui diminuait au fur et à mesure du vieillissement. C'est au cours des années 1990 que deux travaux marquants ont fait voler ce dogme en éclat. D'une part, de nouveaux neurones ont été détectés dans le cerveau de sujets âgés de plus de 70 ans. Ces travaux établissaient que



Culture de cellules souches neurales, le jour de la mise en culture (J0), après 4 (J4) ou 10 (J10) jours in vitro.



Station de microscopie confocale utilisée pour analyser la prolifération et le devenir des cellules souches neurales.

chez l'Homme, tout comme chez les Rongeurs, la neurogenèse persiste à l'âge adulte au sein de 2 régions spécifiques : l'hippocampe et le bulbe olfactif. D'autre part, la possibilité de cultiver des cellules souches extraites du cerveau a donné un essor certain pour l'étude des cellules souches neurales.

La culture de cellules souches neurales

L'Institut de Physiologie et Biologie Cellulaire (UMR 6187 CNRS/Université de Poitiers) a mis en place depuis plusieurs années des travaux utilisant les cultures de cellules souches neurales de rongeurs, afin de comprendre les mécanismes qui contrôlent la prolifération et la différenciation des cellules souches neurales. Le principal réservoir de cellules souches neurales, dans le cerveau de mammifères adultes, est la région sous-ventriculaire qui borde les ventricules latéraux. Lorsque ces cellules sont cultivées en présence de facteurs de croissance, elles prolifèrent et forment des amas appelés neurosphères. Placées dans des milieux de culture appropriés, elles génèrent des neurones et des cellules gliales. Chez l'Homme, des cellules souches neurales ont pu être cultivées à partir, non seulement de prélèvements post-mortem, mais aussi de biopsies. Ce résultat laisse entrevoir la possibilité de soigner un patient avec ses propres cellules souches en évitant un risque de rejet de greffe.

Le traitement de maladies neurodégénératives

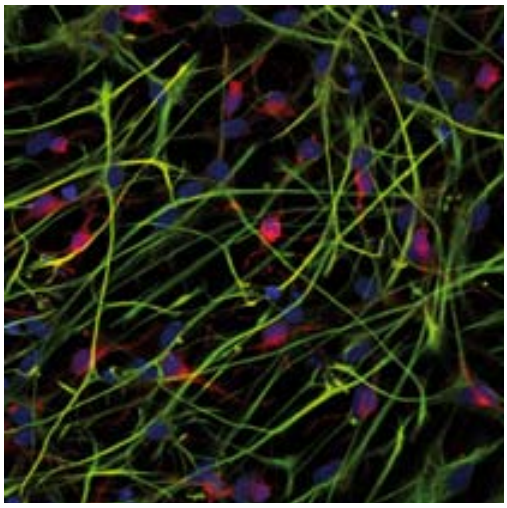
Les cellules souches neurales suscitent un intérêt certain pour le traitement de pathologies affectant le cerveau dont les accidents vasculaires cérébraux (AVC) et des maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson ou de Huntington. Ces cellules souches pourraient être greffées pour une réparation des circuits nerveux lésés après amplification *ex-vivo* et différenciation. Une approche alternative propose de stimuler les capacités des cellules souches neurales à remplacer, de manière limitée, des neurones perdus par les lésions. Le traitement consisterait alors à recruter les cellules souches neurales du patient par administration de molécules thérapeutiques. De tels objectifs requièrent une connaissance approfondie des mécanismes qui régulent la prolifération et la différenciation des cellules souches neurales non seulement pour obtenir les types cellulaires souhaités pour la greffe mais aussi pour éviter de tomber dans un autre écueil, le cancer. En effet, de récents travaux suggèrent que certaines tumeurs du cerveau se développeraient à partir de cellules souches neurales dont les mécanismes de prolifération seraient dérégulés.

Une nouvelle molécule issue du foie

Les travaux de recherche de l'IPBC se focalisent sur les mécanismes qui, dans l'organisme, contrôlent les cellules souches neurales. Ils bénéficient du soutien du CNRS, de l'Université de Poitiers, de la Ligue Contre le Cancer (Comités de la Région Poitou-Charentes) et de la Région Poitou-Charentes. Le laboratoire a montré que des facteurs produits de manière "naturelle" par les structures cérébrales régulent la prolifération des cellules souches neurales. En particulier, le cortex cérébral libère après lésion, des facteurs qui favorisent la prolifération des cellules souches. Toutefois, les capacités de réparation du cerveau lésé, dans des pathologies telles que les AVC, restent limitées. C'est ce qui a conduit les chercheurs de l'IPBC à rechercher d'autres molécules. Partant du foie, organe de référence en termes de régénération tissulaire, une nouvelle molécule a été identifiée, qui maintient dans le cerveau la prolifération des cellules souches neurales. D'autres facteurs sont encore à l'étude. Cette connaissance des mécanismes qui *in situ*, contrôlent de manière endogène les cellules souches neurales est une étape majeure tant pour la biologie des cellules souches que pour leur utilisation thérapeutique potentielle, en neurologie et en cancérologie. ■

Contact : Valérie CORONAS
valerie.coronas@univ-poitiers.fr

Neurones (en rouge) et cellules gliales (en vert) obtenus à partir des cellules souches neurales en culture.



Les agroressources,
de la plante à l'actif

À l'heure où les ressources fossiles sont de plus en plus difficilement accessibles et la législation environnementale de plus en plus contraignante, la valorisation des molécules d'origine photosynthétique prend une nouvelle dimension.

Plus que jamais, des méthodes innovantes doivent être mises au point, tout en restant simples et faciles à mettre en œuvre, offrant des alternatives « vertes » aux méthodes de séparation et de modifications moléculaires conventionnelles. L'équipe « Procédés » de l'Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA – CNRS/Université d'Orléans) étudie la valorisation non alimentaire des produits d'origine végétale. Elle s'est étoffée et adaptée au cours du temps pour répondre aux besoins des industriels tout en apportant sa contribution aux modèles de connaissances. Depuis le 1er janvier 2009, les scientifiques du Laboratoire des Procédés Chimiques, préalablement rattaché à l'équipe de Génie des Procédés pour l'Environnement, l'Énergie et la Santé (GPE2S-EA 21) ont rejoint l'ICOA en créant un nouvel axe de recherche : « Procédés ». Cette équipe privilégie deux thèmes de recherche. La thématique « Séparation » qui consiste à utiliser les techniques du génie des procédés, associées aux outils analytiques, afin de valoriser diverses phytomolécules. Les molécules cibles peuvent être, soit diluées dans les plantes, soit concentrées dans certains points de la chaîne de transformation du végétal (co-produits intermédiaires, effluents aqueux,…). Des techniques telles que les extractions solide-liquide et liquide-liquide, l'adsorption, la cristallisation, l'échange d'ions, les procédés membranaires ont été ou sont étudiées et adaptées. Par ailleurs, l'optimisation des procédés, utilisant des outils mathématiques, ainsi que l'extrapolation pilote sont réalisées en vue d'une exploitation industrielle. Parallèlement à l'axe « *Séparation* », la thématique « *Réaction* » a été initiée afin de valoriser certaines molécules par modification chimique simple (fonctionnalisation, synthèse monoétape, dégradation). Pour contrôler les facteurs influents en vue de l'optimisation du procédé, il est nécessaire de mettre en place des capteurs spécifiques permettant une acquisition et une analyse en ligne. Par ailleurs, une phase d'automatisation peut être envisagée pour augmenter la fiabilité des résultats, suivre les cinétiques et dimensionner l'unité avant une exploitation industrielle.

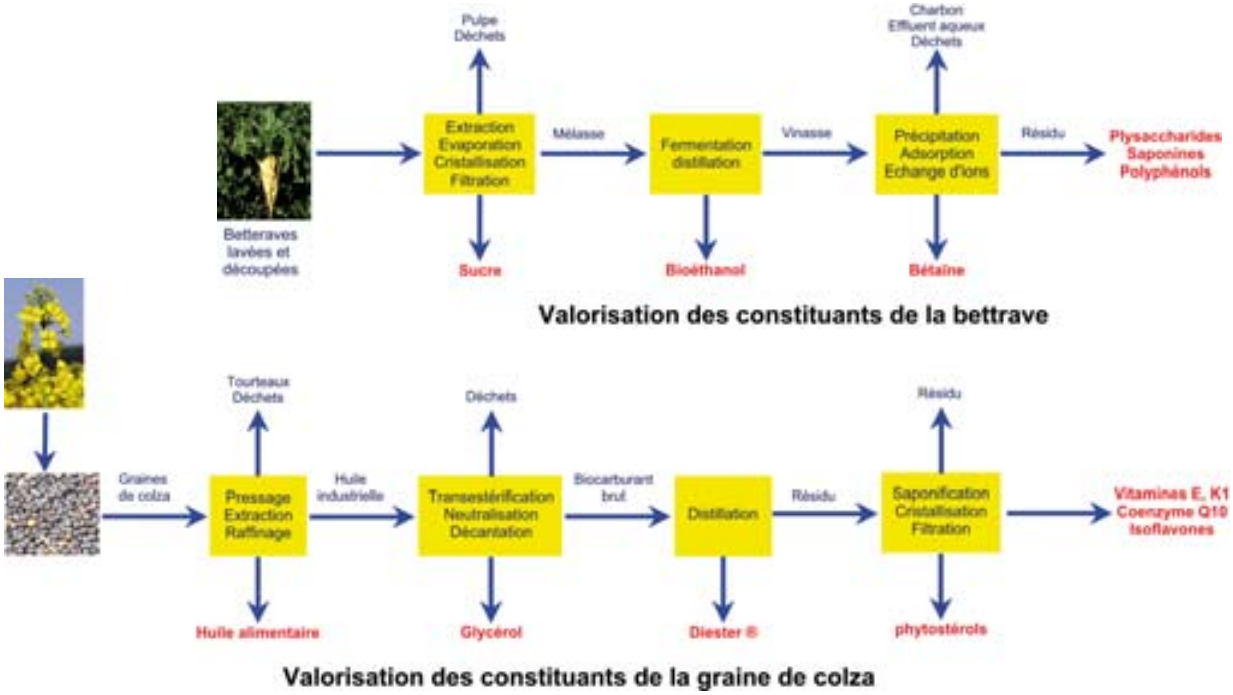


Unité de cristallisation automatisée

Valorisation des biocarburants

Même si son rendement est très faible (1 % en moyenne sur l'ensemble du globe terrestre), l'activité photosynthétique génère une biomasse riche en molécules plus ou moins complexes dont la teneur et la valeur ajoutée sont variables dans le végétal. Hormis les usages alimentaires et la fumure des champs, la biomasse a de tout temps été utilisée, directement ou après traitement industriel, comme combustibles (matières lignocellulosiques, oléagineuses, hydrocarbonées fermentescibles, etc), matières premières pour les industries chimiques, pharmaceutiques, cosmétiques, etc ou comme matériaux (bois, papiers, plantes textiles, amidon, etc).

Pour bien montrer la richesse des végétaux, il suffit d'analyser la transformation industrielle de deux plantes récoltées en abondance en région Centre : le colza et la betterave sucrière. À l'origine, ces végétaux ont été cultivés à des fins alimentaires pour produire de l'huile (45 % des graines de colza) et du sucre (70 % de la matière sèche de betterave). L'amélioration des techniques agronomiques a conduit, au fil du temps, à une surproduction de ces aliments de base. Par ailleurs, les différentes crises énergétiques et la raréfaction des énergies fossiles ont favorisé l'utilisation de ces bioressources comme biocarburant. En effet, les triglycérides abondants dans l'huile de colza peuvent être facilement estérifiés en ester méthylique de colza



(EMC ou Diester®) alors que la fermentation du sucre conduit au bioéthanol. Ces biocarburants doivent être purifiés par distillation pour pouvoir être utilisés dans des moteurs conventionnels et leurs synthèses génèrent, à chaque étape de leur transformation, des déchets contenant des quantités variables de produits à plus ou moins haute valeur ajoutée.

Ainsi, la plupart des composés lipophiles présents dans l'huile de colza se trouvent concentrés dans le résidu de distillation de l'EMC. Celui-ci contient notamment 25 % en masse de phytostérols (brassicastérol, campestérol et ? -sitostérol) connus pour leurs propriétés anticholestérolémiantes. La mise en place de procédés simples et couramment utilisés dans l'industrie chimique (saponification, relargage, filtration, recristallisation) permet de produire 244 kg d'un mélange de phytostérols par tonne de résidu jusqu'alors non valorisé.

De la même façon, les composés hydrophiles présents dans la betterave se retrouvent concentrés dans la mélasse, après élimination du saccharose, puis dans la vinasse, après fermentation suivie de la distillation de l'éthanol. Les vinasses contiennent divers produits (polysaccharides, protéines, saponines, polyphénols) et notamment 18 % de bétaïne utilisée comme agent tensioactif, osmoprotecteur et antiradicalaire. Cette molécule peut être isolée avec un rendement global de 71 % après une précipitation, un passage au noir et une purification sur résine échangeuse d'ions suivie d'une cristallisation.

Développements en chimie verte

Ces deux exemples montrent que le monde végétal constitue une ressource renouvelable de produits de base ou à haute valeur ajoutée. La photosynthèse permet, par réduction du dioxyde de carbone atmosphérique et oxydation de l'eau en présence de nutriments présents dans le sol, de produire, à côté des molécules majoritaires (chimie de base), des molécules déjà élaborées (chimie fine). Le bilan environnemental est très positif puisque ces molécules « vertes », souvent à haute valeur ajoutée (molécules complexes, généralement optiquement actives), sont isolées par des techniques d'extraction et se substituent souvent aux composés de synthèse. De plus, elles peuvent être modifiées chimiquement par des réactions d'hémisynthèse pour améliorer leur activité.

Les molécules mineures de la plante se retrouvent aussi concentrées dans certains points de la chaîne de traitement et peuvent être séparées en utilisant des méthodes simples et des produits courants. Ces valorisations induisent un abaissement du coût de production du produit principal et permet d'envisager des utilisations dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques ou nutracétiques. ■

Contact : Henri FAUDUET
henri.fauduet@univ-orleans.fr



Réacteur pilote



Les carrelets de l'estuaire de la Charente



Marais

Littoral charentais
et diversité biologique

Les écosystèmes marins procurent une variété de biens et de services, assurant la survie et le bien-être de millions de personnes. Le fonctionnement de ces écosystèmes est contrôlé par les organismes qui les peuplent. La diversité biologique joue un rôle tampon sur la capacité des écosystèmes à résister et/ou à revenir à un état initial face à des perturbations extérieures.

Le fonctionnement des écosystèmes marins est aujourd'hui menacé : directement par la pression anthropique (liée à l'activité humaine : surexploitation des espèces, pollution, destruction d'habitats et tourisme) ou indirectement par le changement climatique global et notamment ses conséquences sur les cycles biogéochimiques des océans. Ces pressions induisent une perte importante d'espèces marines particulièrement intenses dans les écosystèmes côtiers. Cette perte affaiblit non seulement la capacité des océans à fournir de la nourriture et à maintenir la qualité des eaux, indispensable au maintien de la biodiversité. Le désir de restauration de la structure et du fonctionnement des écosystèmes marins nécessite donc une meilleure compréhension de la relation diversité avec le fonctionnement de ces systèmes.

La diversité des écosystèmes côtiers

Les zones côtières sont des systèmes peu profonds situés à l'interface entre océan, continent et atmosphère. Elles sont de ce fait des zones d'échanges de matière et d'énergie entre continent et océan ouvert, jouant un rôle capital dans les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et du phosphore. Bien qu'elles ne représentent que 8,5 % de la surface des océans, elles contribuent à 14-30 % de la production primaire, 80 % de la sédimentation de la matière organique, 90 % des activités de pêche mondiale et 60 % des biens et services fournis à l'homme par les écosystèmes marins.

Cette position d'interface entre continent et océan impose d'une part une forte variabilité spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et par conséquent une forte sensibilité vis-à-vis des forçages naturels et/ou anthropiques et, d'autre part, une multiplicité des sources de matière organique à la base de l'écosystème en place : production primaire (issue de la photosynthèse) d'origine pélagique (phytoplancton) ou benthique (herbiers, épiphytes) mais également d'origines continentales (phytoplancton dégradé et végétaux supérieurs terrestres issues du bassin versant ou des marais adjacents). Le fonctionnement des écosystèmes dépend profondément de l'importance relative de ces sources. On parle de « méta-écosystème » pour désigner cette mosaïque d'écosystèmes aux fonctionnements différents, connectés par des flux de matière et d'énergie.

Dans les estuaires, les écosystèmes dépendent typiquement d'apports extérieurs de matière organique où les procaryotes (Bactéries et Archées) hétérotrophes jouent un rôle essentiel dans le transfert de matière entre production primaire et secondaire. Dans les vasières, le couplage physique et biologique est très important puisque les courants contribuent à la remise en suspension des algues microphytobenthiques (comme les diatomées) extrêmement


© Thierry Guyot
Estran rocheux de la pointe de Chassiron sur l'île d'Oléron


© VASIREMI
La vasière de Brouage

productives dont l'exportation vers les zones littorales permet d'alimenter et d'entretenir une intense activité de producteurs secondaires. Dans les zones littorales plus au large, le phytoplancton représente la source majoritaire de matière organique à la base du fonctionnement du réseau trophique. Cette source est limitée saisonnièrement par la lumière et la disponibilité en sels nutritifs et cette limitation contrôle totalement le type de réseau trophique (1) mis en place. Ainsi dans les différentes composantes du « méta-écosystème », le fonctionnement va être différent et dépendant des interactions entre les espèces benthiques (2), pélagiques (3) et des apports continentaux de matière organique.

Un exemple : Les Pertuis charentais

Les Pertuis charentais sont le réceptacle des eaux de la Charente, de la Sèvre et en partie de la Gironde dont la qualité et la quantité ont été profondément altérées par le développement d'activités agricoles et industrielles sur les bassins versants. On y trouve les principales activités d'exploitation des ressources vivantes : première zone d'élevage d'huîtres en Europe, première zone mytilicole française, développement d'aquaculture nouvelle sur filière et en bassins de terre, zone de pêche artisanale côtière et d'estuaire, zone de captage de naissains de bivalves et enfin, zone de frayères d'espèces nobles et de nourriceries de poissons permettant le maintien des ressources halieutiques du Golfe de Gascogne.


© P. Ohman
Communauté de microalgues (diatomées) : Acteurs principaux de la production primaire des vasières intertidales.

Le méta-écosystème Pertuis charentais forme la transition bassins versants – Océan entre les marais doux et le plateau du Golfe de Gascogne. Outre la diversité d'écosystème, la biodiversité, c'est-à-dire la diversité des organismes vivants, y est très riche. Pour préserver cette biodiversité mais également les ressources et donc les activités dans cette bande littorale, il est donc nécessaire d'analyser finement le fonctionnement de l'écosystème et de comprendre les réactions des populations naturelles face aux forçages environnementaux.

A La Rochelle, au sein du laboratoire LIttoral, ENvironnement et Sociétés (LIENSs – UMR CNRS/Université de La Rochelle, l'équipe DYFEA (DYnamique Fonctionnelle des Ecosystèmes côtiers Anthropisés) vise à comprendre le fonctionnement dynamique et l'évolution des écosystèmes anthropisés que représente le continuum « marais/estuaires/vasières intertidales/baies littorales semi-fermées/plateau continental ». Les enjeux scientifiques de l'équipe sont la compréhension de la régulation et de la maintenance de la productivité de ces écosystèmes dans le cadre d'une gestion durable.

Cette recherche contribue à répondre à des questions environnementales, aujourd'hui considérées comme prioritaires, dans une optique de maintien durable de la biodiversité et donc de la forte productivité des écosystèmes des Pertuis Charentais et du fonctionnement des espaces littoraux en général. ■

Contacts :
Valérie DAVID
valerie.david@univ-lr.fr
Hélène AGOGUE
helene.agogue@univ-lr.fr
Christine DUPUY
christine.dupuy@univ-lr.fr

Glossaire

(1) Réseau trophique : ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la matière circulent (Qui mange quoi ?).

(2) Benthos : l'ensemble des organismes aquatiques vivant à proximité du fond des mers et océans.

(3) Pelagos : l'ensemble des organismes aquatiques qui occupent la « colonne d'eau ».

La Touraine, berceau des biotechnologies ?

Au début du XX^e siècle existait à Tours le plus grand institut vaccinal de France et d'Europe. Pour des chercheurs tourangeaux très impliqués dans l'immunothérapie, la mise en valeur de cette perspective historique donne du relief aux travaux du présent et apporte une légitimité à l'implantation locale d'une industrie biotechnologique.



Pierre Fidèle Bretonneau, par Berthoir (Académie nationale de Médecine, Paris)

En s'intéressant à la personnalité du créateur du plus grand institut vaccinal de France, fut mise au jour une généalogie de savants ayant œuvré pendant deux siècles au développement de l'immunothérapie en Touraine.

Bretonneau et l'enracinement de la vaccination anti-variolique en Touraine

En 1796, l'Anglais Edward Jenner fut frappé de constater que des fermières restaient indemnes de variole, du fait qu'elles avaient précédemment contracté une forme bénigne de vérole en trayant leurs vaches. Il eut la brillante idée d'inoculer cette vaccine (de *vacca*, vache) pour préserver de ce terrible fléau : c'est ainsi que la « vaccination » se répandit dans l'Europe entière. Un Comité central de la vaccine fut créé à Paris en 1901 et la responsabilité en fut confiée à Henri-Marie Husson, lequel avait fait ses études de médecine avec le tourangeau Pierre Fidèle Bretonneau. Ce dernier, installé comme officier de santé à Chenonceau, devint ainsi un ardent promoteur de la vaccination transmise de « bras à bras » et se rendit compte que les problèmes liés au transport et à la conservation du vaccin en limitaient la diffusion dans les campagnes. Esprit inventif et pratique, il fabriqua de minuscules ampoules en verre pour garder et transporter le précieux fluide vaccinal. En 1806, une médaille lui fut décernée pour cette découverte et le comité central de la vaccine adopta le tube capillaire qui reçut le nom de « tube Bretonneau ». Plus tard, en 1864, Ernest Chambon, médecin originaire du Loiret et élève de Trousseau, lui-même élève de Bretonneau, créa à Paris un « Institut de vaccine animale » dans lequel il propageait la vaccine sur des génisses afin d'en disposer plus facilement.

De la vaccination jennérienne à l'Institut vaccinal de Tours



Edmond Chaumier, médecin dont le père Auguste avait été « premier élève » de Bretonneau, fonda à Tours en 1887 un dispensaire pour continuer à promouvoir la vaccination. L'approvisionnement en vaccin restant difficile, il décida de créer son propre institut qu'il implanta bientôt dans le château de Plessis-lès-Tours, en même temps qu'un musée de la vaccine. Fin visionnaire, Edmond Chaumier donna une dimension industrielle à la production du vaccin, en s'orientant vers le « vaccin de conserve » qui permettait la production de lots et leur qualification. En 1905, son institut n'approvisionnait pas moins de quarante-trois départements et fournissait d'autres instituts vaccinaux européens, comme lors d'une épidémie de variole à Londres en 1902. Pour amélio-



Avec son vaccin produit dans le château de Plessis-les-Tours, et investi d'un pouvoir « royal », Chaumier s'était rendu maître de la variole, à l'image de Louis XI qui avait fait mettre en cage le Cardinal de la Balue. Par un subtil jeu de mots, ce dessin laisse aussi entendre que l'Institut vaccinal de Tours avait vaincu son concurrent de toujours, l'Institut de vaccine animale fondé par Chambon et installé à Paris, rue Ballu… De fait, l'Institut vaccinal de Tours, dont la succursale était l'Institut vaccinal de Rome (autre siège emblématique…), était devenu le plus gros producteur de vaccin anti-variolique d'Europe. (Université de Tours ©Daniel Bourry, collection Mme Méry)

>> Pour en savoir plus
Exposition « Touraine, jardin de santé et pépinière de savants »
http://www.villandry.ferriere.org/



Buvard publicitaire de l'IBT. Le « Vaccin antiaphteux Belin », spécialité de la maison, était produit après co-inoculation de vaches par le virus de la vaccine et le virus de la fièvre aphteuse. Droits réservés : documents issus du fonds Watier du Service Commun de Documentation de l'Université de Tours.



Médaille du Comité de vaccine d'Indre-et-Loire dont le président d'honneur était Jenner lui-même. Au-dessus de la vache, la lancette et le « tube Bretonneau ». Université de Tours©Daniel Bourry, collection Watier.

rer les conditions d'hygiène entourant la fabrication du vaccin il s'adjoignit les services du vétérinaire Marcel Belin, formé à l'école pasteurienne. Enfin, il créa la *Revue internationale de la vaccine* dans le but de fédérer les savoirs autour de la production de vaccin et contribuer à son amélioration. L'institut vaccinal connut son dernier souffle en même temps qu'Edmond Chaumier et fut racheté par son grand concurrent, l'institut parisien. Une production de vaccin anti-variolique persista à Tours jusqu'au début des années 1950, et permit d'approvisionner la région de Lorient en 1955, lors de la dernière épidémie française de variole. Toute production française de vaccin anti-variolique cessa dans les années 1970, avec l'éradication mondiale de la maladie prononcée par l'OMS en 1979.

Philippe Maupas et le vaccin contre l'hépatite B

De son côté, Marcel Belin fonda en 1919 l'Institut Bactériologique de Tours (IBT) pour exploiter sa découverte d'une méthode de production en masse du virus de la fièvre aphteuse et commercialiser un vaccin destiné aux bovins. Son fils Claude, médecin, lui succéda en 1950 et, en 1966, tout comme son père vétérinaire avait été recruté par le médecin Chaumier, il recruta le vétérinaire Philippe Maupas, pour optimiser et développer la gamme des produits vétérinaires. Ce dernier quitta l'IBT en 1969 pour le laboratoire de microbiologie de la Faculté de médecine et de pharmacie et du CHU de Tours où il entreprit des travaux sur le virus de l'hépatite B. En 1976, alors que la compétition internationale faisait rage, Philippe Maupas fut le premier à mettre au point un vaccin contre l'hépatite B, qui sera mis sur le marché en 1981.



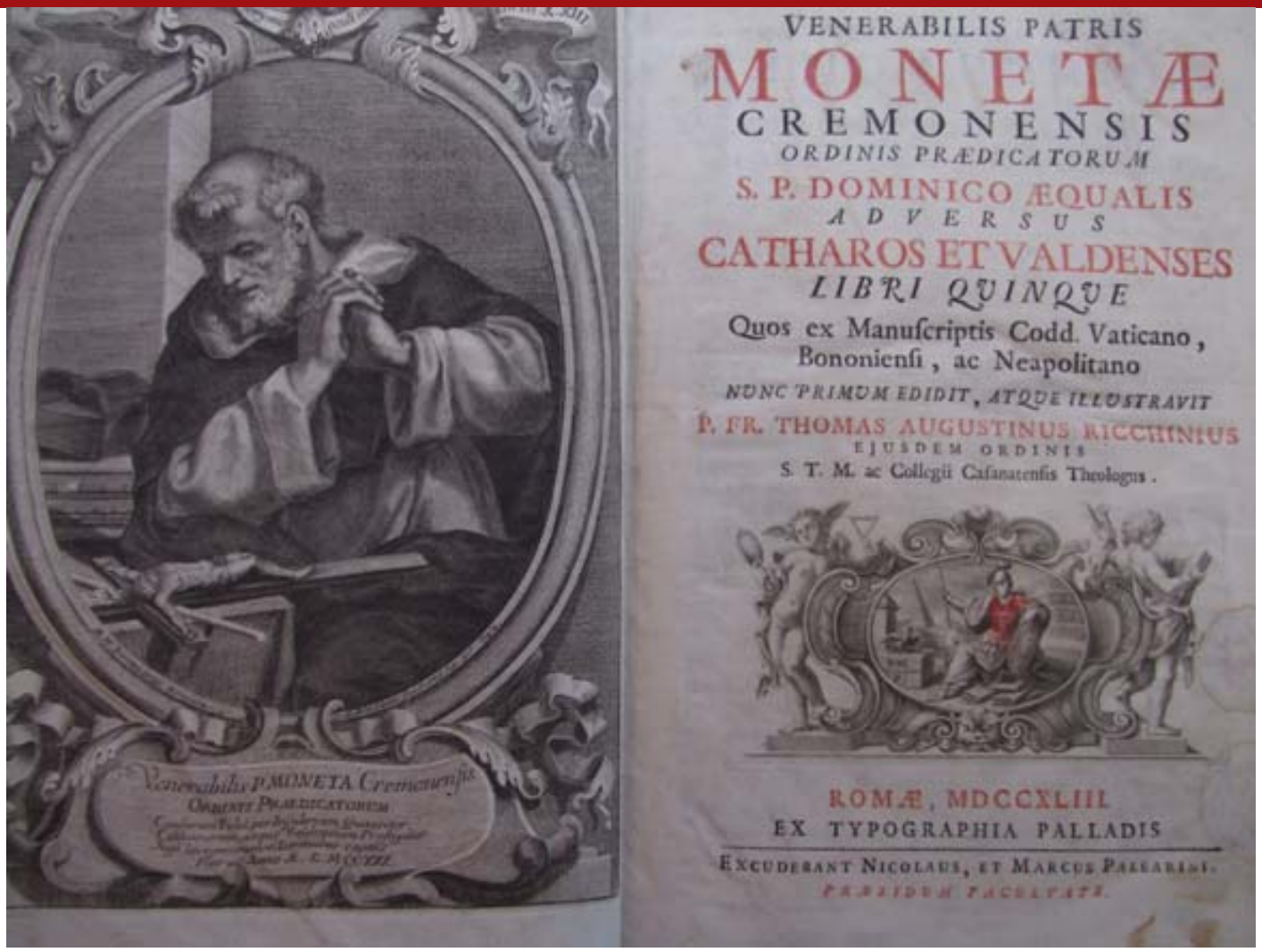
Les biotechnologies tourangelles au XXIe siècle

Les menaces infectieuses restant perpétuellement présentes, plusieurs équipes de recherche tourangelles travaillent actuellement à la mise au point de nouveaux vaccins. Les épidémies, autrefois si dévastatrices, ont été supplantées au rang des grands fléaux de ce siècle par le cancer. Contre toute attente, là encore, l'immunothérapie est venue récemment apporter de nouveaux espoirs, avec l'apparition des anticorps monoclonaux recombinants dont huit sont indiqués pour le traitement de diverses tumeurs. Ces anticorps représentent une forme moderne de sérothérapie qui fut conçue par Charles Richet et qui fut ardemment promue pour le traitement des maladies infectieuses pédiatriques par Robert Debré. C'est dans le domaine des anticorps thérapeutiques que le laboratoire « Génétique, Immunothérapie, Chimie et Cancer » (CNRS/Université François Rabelais de Tours) a acquis une renommée internationale, qui se traduit aujourd'hui par la direction d'un groupement de recherche « Anticorps et ciblage thérapeutique », regroupant 66 équipes françaises dont un tiers d'industriels. Espérons que l'implantation de ce laboratoire et de ce groupe de recherche dans cette « pépinière » tourangelle se traduise par la création de jeunes pousses dans le domaine biotechnologique, à l'image des grands aînés que furent l'Institut Vaccinal de Tours et l'Institut Bactériologique de Tours. ■

Contacts
Julien LEJEUNE
lejeune91@yahoo.fr
Hervé WATIER
watier@med.univ-tours.fr
Laboratoire « Génétique, Immunothérapie, Chimie et Cancer » - GICC (CNRS/Université François Rabelais de Tours
Claire MARCHAND
Centre de Recherche sur les Mondes Anciens, l'Histoire des Villes et l'Alimentation – Université François Rabelais de Tours

ORHIBIO

La genèse de l'implantation de biotechnologies en Touraine s'enracine dans un contexte qui doit beaucoup à de grandes figures oubliées de médecins. Le projet de recherche ORHIBIO (Origines et histoire de l'industrialisation des biotechnologies : réseaux médicaux, formation et recherches en région Centre, XIXe-XXe siècles), soutenu par le Conseil régional du Centre repose sur une synergie entre historiens et médecins tourangeaux, tout en valorisant et enrichissant le fond patrimonial de la bibliothèque de médecine de Tours. Il doit mettre sur pied les bases d'une histoire technique, scientifique et industrielle méconnue.
Participent à ce projet de recherche le Centre de recherche sur les Mondes anciens, l'histoire de la ville et de l'alimentation, le laboratoire Génétique, Immunothérapie, Chimie et Cancer (CNRS/Université François Rabelais de Tours) et le service commun de documentation de l'Université de Tours.



Édition romaine de 1743 de la Somme contre les Cathares et les vaudois du dominicain Monéta de Crémone. Ce traité antihérétique, écrit vers 1240-1241, est élaboré pour aider les inquisiteurs à mieux confondre les croyances hérétiques dans les cités italiennes (DR. fonds du Centre d'Études Cathares, Carcassonne)

Le livre secret des Cathares

Sous la forme d'un dialogue fictif entre le Christ et Jean l'Évangéliste lors de la Cène, l'apocryphe « Interrogatio Iohannis » est censé contenir des révélations du Christ. Il contient des mythes et croyances répandus dans un groupe de Cathares italiens aux XIIe et XIIIe siècles. L'ouvrage a été qualifié de « livre secret » par l'Inquisition car sa lecture était réservée aux initiés Cathares.

Cette année, on commémore le 800e anniversaire du début de la « croisade » menée contre les Albigeois ou Cathares du comté de Toulouse. Lancée par le pape Innocent III, cette entreprise militaire a eu pour but d'extirper l'hérésie dans le Languedoc, et a eu pour conséquence, entre autres, l'annexion du comté de Toulouse par le royaume de France en 1271.

Les Cathares en Italie

Si l'histoire des Cathares du Midi de la France fait partie de la mémoire nationale, peu de gens connaissent celle des Cathares d'Italie, dont les croyances sont pourtant très bien documentées par des sources émanant des hérétiques eux-mêmes ainsi que par les traités anti-hérétiques. Dès la fin du XIIe siècle, le Nord de l'Italie est devenu un véritable « paradis » des Cathares. Profitant des tensions constantes et plus ou moins exacerbées entre Gibelins et Guelfes (partisans de l'empereur et ceux du pape), les communautés hérétiques se maintinrent tout au long du XIIIe siècle dans les villes de Lombardie. De nombreux Cathares de Languedoc y trouvèrent refuge jusqu'à la fin du XIIIe siècle. Le dernier évêque cathare italien a été arrêté en 1321.

>> À lire

Le Livre secret des Cathares, Interrogatio Iohannis. Édition critique, traduction, commentaire par Edina Bozoky. Paris, Beauchesne, 2009 (nouvelle édition revue et augmentée) (collection Textes Dossiers Documents 17).

La dualité Bien / Mal, âme / corps

La préoccupation principale des Cathares était le salut des âmes. Rejetant globalement la solution catholique, ils accentuaient le dualisme entre le Bien et le Mal, l'âme et le corps, et proposaient une relecture des Écritures. Les auteurs des traités anti-hérétiques soulignent la grande diversité des croyances des Cathares d'Italie, opposée à l'unité de la foi de l'Église officielle. Deux grandes tendances peuvent être distinguées dans le catharisme : le dualisme dit « absolu » (radical) et le « mitigé » (ou modéré).

Selon la tendance « absolue », qui caractérisait le catharisme languedocien ainsi que les adeptes d'une Église d'Italie (Desenzano, au bord du lac de Garde) et les hérétiques de Thrace, il existait à l'origine deux règnes : celui du Dieu invisible, excluant le mal et celui du Dieu des ténèbres, matériel, identifié avec Satan. Cet équilibre a été rompu par l'intrusion de Satan dans le monde divin, envahissant la cour céleste et séduisant une partie des anges. Expulsé des cieux par Dieu avec sa cohorte et les anges rebelles, Satan crée le monde matériel et emprisonne les anges déchus – créatures du Dieu bon – dans les corps matériels.

Les Cathares « mitigés » ont été présents surtout dans l'Église de Concorezzo, près de Milan. C'est eux qui possédaient un texte latin intitulé « *Interrogatio Iohannis* » (« Questionnement de Jean »), qualifié par l'Inquisition de « livre secret », car sa connaissance était réservée aux initiés de la secte. Il nous est parvenu en deux versions latines. L'une est contenue dans un manuscrit conservé à la Bibliothèque nationale de Vienne (lat. 1137, fol. 158v-160). Il s'agit d'un texte ajouté aux derniers feuillets d'un Nouveau Testament en latin écrit au XIIe siècle. L'autre version, copiée d'après les archives de l'Inquisition de Carcassonne, subsiste dans un manuscrit du milieu du XVe siècle (ms 109, BM de Dole) et par une copie effectuée par la mission Doat au XVIIe (Paris, BnF, coll. Doat, t. 36, fol. 26v-35).

Le contenu du « livre secret »

Sous la forme d'un dialogue fictif entre le Christ et Jean l'Évangéliste à la Cène, l'Interrogatio Iohannis contient en résumé tous les grands thèmes de l'histoire sainte, depuis la création du monde jusqu'à sa fin. Satan, intendant des puissances célestes, séduit par orgueil une partie des anges jusqu'au cinquième ciel. Il est rejeté du ciel par Dieu, mais qui lui permet d'organiser la matière – créée par Dieu – pendant sept jours. Satan fabrique alors le monde visible, puis les corps de boue du premier couple humain, dans lesquels il fait entrer deux anges qui pleurent leur sort. Sous la forme du serpent, il séduit Ève et éveille aussi la concupiscence d'Adam. Dieu permet à Satan – identifié avec le Dieu de l'Ancien Testament – de régner pendant sept siècles. Pendant cette époque, Satan trompe l'humanité. Il donne à Moïse le bois pour le crucifiement du Christ ; il envoie Jean-Baptiste pour baptiser dans l'eau.

Le Christ est envoyé par Dieu pour sauver les hommes. Sa mère, Marie, est un ange envoyé par Dieu ; le Christ passe par elle en entrant par son oreille. L'apocryphe condamne le baptême dans l'eau, souligne la valeur particulière de la prière Notre Père et fait l'apologie de la chasteté. L'eschatologie suit essentiellement les passages du Nouveau Testament sur la récompense des justes et la damnation des pécheurs.

L'origine du livre et du Catharisme

Selon l'inquisiteur Anselme d'Alexandrie (il s'agit d'Alessandria en Italie du nord), qui écrit vers 1270 un traité sur les hérétiques, c'est Nazaire, auxiliaire (« fils majeur ») de l'évêque cathare de Concorezzo, qui « tenait » cet écrit de l'Église de Bulgarie, depuis 1190.

En effet, le contenu du livre est très proche des croyances des Bogomiles, hérétiques dualistes apparus en Bulgarie au Xe siècle, puis répandus dans l'empire byzantin et dans des pays balkaniques, en particulier en Bosnie. La ressemblance de l'Interrogatio est singulièrement marquée avec l'enseignement du chef hérétique Basile, interrogé et condamné par l'empereur Alexis Comnène à Constantinople à la fin du XIe ou début du XIIe siècle. Un moine, Euthyme Zigabène a été chargé ensuite de rédiger une somme sur les hérésies, où le bogomilisme est présenté avec force de détails.



Interrogatio Iohannis, (manuscrit 1137, Bibliothèque Nationale d'Autriche, f°158v).

En passant par Constantinople, les Occidentaux pouvaient entrer en contact avec des Bogomiles dès la Première Croisade, et plus sûrement encore lors de la Deuxième. Anselme d'Alexandrie a attribué l'origine du catharisme à des Français (Francigeni) qui auraient été séduits par les hérétiques bulgares de Constantinople au temps de la Deuxième Croisade. Ensuite un notaire français aurait apporté l'hérésie en Lombardie, dans la région de Concorezzo ; son premier adepte était un certain Marc. ■

Contact : Edina BOZOKY
edina.bozoky@wanadoo.fr
Centre d'Études supérieures de Civilisation médiévale - Poitiers

Université François-Rabelais de Tours - Centre National de la Recherche Scientifique
CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES DE LA RENAISSANCE
CENTRE DES MONUMENTS NATIONAUX

Psyché à la Renaissance



LII[e] Colloque international d'études humanistes

29 juin - 3 juillet 2009

CESR, Salle Rapin

Organisé par

Magali Bélime-Droguet, Véronique Gely,
Lorraine Mailho-Daboussi, Philippe Vendrix

Intervenants

Magali Bélime-Droguet ‖ Joke Boury ‖ Galia Daniela Cabrera Lo Bue ‖
Raffaele Carbone ‖ Camilla Cavicchi ‖ Sonia Cavicchioli ‖ Donatella Coppini ‖
Thierry Crépin-Leblond ‖ Francisco Javier Escobar Borrego ‖ Silvia Fabrizio-Costa ‖
Véronique Gély ‖ Aziza Gril-Mariotte ‖ Ian Grivel ‖ Ute Heidmann ‖ Emiliana Iacovelli ‖
Jérémie Koering ‖ Frank La Brasca ‖ Grantley McDonald ‖ Audrey Nassieu-Maupas ‖
Christiane Noireau ‖ Jean de Palacio ‖ Maria Teresa Ricci ‖ Alexis Tadié ‖
Francesco Tateo ‖ Olga Vassilieva-Codognet ‖ Jean Vittet ‖ Étienne Wolff ‖

59, rue Néricault-Destouches BP 11328 37013 TOURS Cedex 1 – Tél. 02-47-36-77-61 Fax. 02-47-36-77-62
courriel : cesr@univ-tours.fr – http://www.cesr.univ-tours.fr

Détail: Pierre-Paul Prud'hon (*d'après*), *Psyché et l'Amour*, paire de chenets, seconde moitié du XIX[e] siècle, laiton doré et patiné. Sermentizon, château d'Ancerville, Centre des monuments nationaux. *Crédit photo : Philippe Berthé © CMN, Paris*