

NUMÉRO  
60

MAI  
2010

cnrs

dépasser les frontières

# MICROSCOOP

LE JOURNAL DU

# CNRS

EN DÉLÉGATION CENTRE POITOU-CHARENTES



## > HISTOIRE

Les cathédrales, des édifices en « pierre armée »



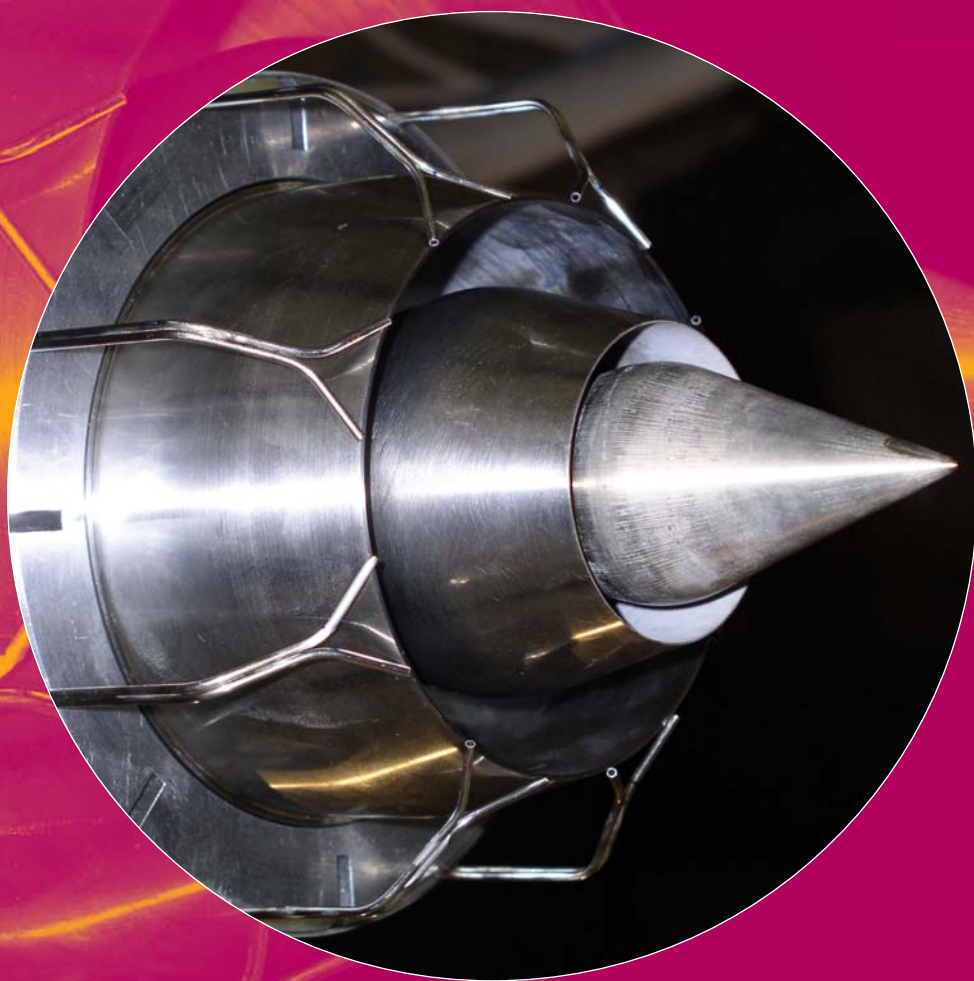
## > BIOLOGIE

Ces symbiotes qui manipulent l'immunité...



## > SOCIÉTÉ

La pauvreté vaincue par micro-crédit ?



## > LABO EN DIRECT

Du nano au macro

## 2/ ÉDITORIAL

### Microscop

Numéro 60

mai 2010

#### 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

Cédric Albinet, Michel  
Audiffren, Lekbir Baala,  
Christian Beghin, Christine  
Braquart, Sylvain Briault,  
Betty Charles, Iacopo Costa,  
Fabienne Dedaldechamp,  
Jean-Paul Gehin, Titaina  
Gibert, Claudine Kieda,  
Michel Lelart, Rémi Lemoine,  
Maxime L'Heritier, Thierry  
Montalieu, Olivier Perche,  
Christian Rietsch,  
Mathieu Sicard.

#### Création graphique

www.enola-creation.fr

#### Imprimeur

Imprimerie Nouvelle

ISSN 1247-844X

#### ERRATUM :

Dans le numéro 59 de février  
2010, article  
« Le vivant à l'échelle  
moléculaire » : l'auteur est  
Benoit MAUNIT et  
non MAUMIT comme indiqué  
par erreur.



Photo de couverture  
Contrôle du bruit de jets par  
microjets convergents



Fidèle à sa ligne directrice depuis maintenant soixante numéros, *Microscop* illustre quelques-unes des activités menées par les laboratoires de la circonscription Centre Poitou-Charentes.

Si les sciences humaines et sociales, la biologie et les sciences de l'Univers sont au sommaire, ce numéro commence par une présentation de PPRIME, unité propre de recherche de l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (InSIS) conventionnée avec l'Université de Poitiers et l'École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique (ENSMA). Créée le 1<sup>er</sup> janvier 2010, PPRIME regroupe cinq laboratoires des sciences pour l'ingénieur et un laboratoire de physique. Réunissant plus de 500 chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, post-doctorants et doctorants, ce nouvel ensemble poitevin développe des recherches à l'interface de ces disciplines, des matériaux à l'aérodynamique, à la combustion et à la thermique jusqu'au génie.

La biologie attend ensuite le lecteur. Trois articles vous feront découvrir divers aspects de ce domaine en commençant par *Wolbachia*, une bactérie qui agit sur la reproduction de son hôte pour augmenter sa propre transmission et qui influe également sur l'immunité. Ensuite nous passerons à la biologie végétale et plus précisément les rôles des transporteurs de sucre dans la physiologie de la plante avant de clore ce chapitre par une hypothèse sur l'implication de facteurs génétiques dans l'autisme.

Le laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E) d'Orléans revient sur la mission de la sonde Cassini-Huygens et nous invite à découvrir le monde de Titan, le plus gros des satellites de Saturne.

Après ce voyage spatial, l'histoire nous attend avec les cathédrales dont les chaînages et autres agrafes de fer permettent l'étude de l'histoire de la sidérurgie et de la circulation des alliages ferreux au

# édito

Moyen-Âge. Nous restons dans la période médiévale avec de nouvelles perspectives de recherche ouvertes dans le domaine des institutions universitaires par l'étude des textes issus des facultés des Arts.

Ce numéro s'achève par trois articles sur des sujets de société, allant du micro-crédit et la lutte contre la pauvreté, aux usages de l'image par les sciences sociales en passant par les effets bénéfiques de l'exercice physique sur la plasticité cérébrale et les fonctions cognitives.

Qualité, interdisciplinarité et pluridisciplinarité caractérisent les recherches développées par les laboratoires de la circonscription.

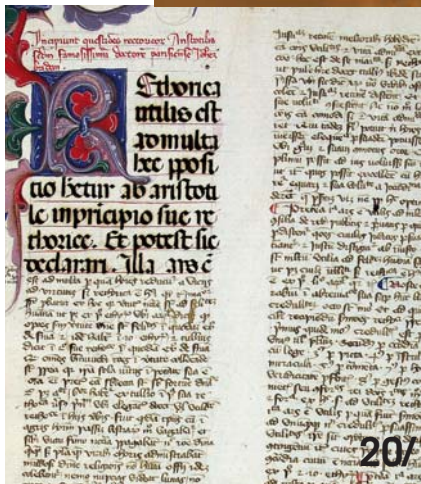
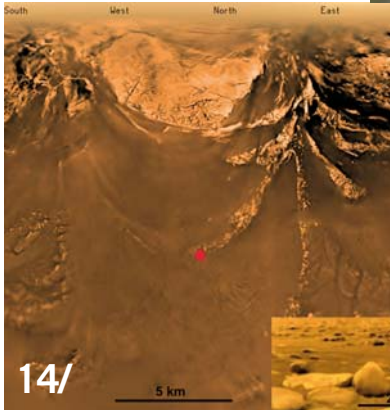
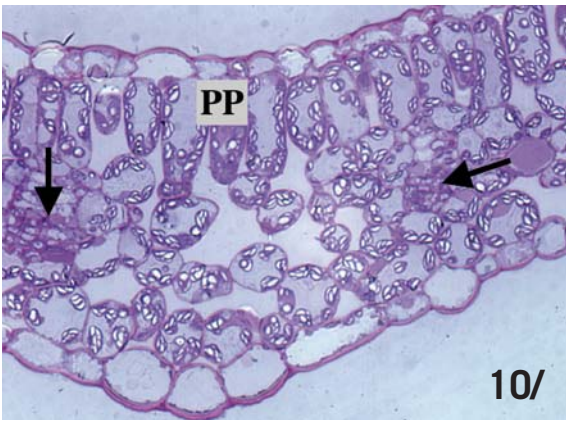
Avant de conclure, je rappellerai en matière d'organisation de l'établissement, que depuis notre précédent numéro, deux directeurs généraux du CNRS ont été nommés par Alain FUCHS, président de l'organisme : Joël BERTRAND en tant que délégué à la science et Xavier INGLEBERT en tant que délégué aux ressources du CNRS. Avec le président, ils forment le nouveau directoire du CNRS.

Joël BERTRAND aux côtés du président de l'organisme est en charge de la coordination des dix instituts du CNRS, de l'interdisciplinarité et des partenariats, Xavier INGLEBERT prolonge l'action dirigeante du président dans le domaine des ressources humaines et financières.

Puisqu'il s'agit du sixantième numéro de *Microscop*, je terminerai mon propos en soulignant la constante progression de cette revue, souvenons-nous ne serait-ce que de la bichromie des premiers numéros. Aujourd'hui *Microscop* est le parfait reflet de la recherche développée dans toute sa diversité et dans toute sa complémentarité. Il m'a semblé important à cette occasion que les correspondants communication des laboratoires ainsi que le service communication de la délégation et son responsable auquel j'associerai son prédécesseur en soient remerciés.

En attendant les numéros suivants, je vous souhaite une très bonne lecture.

**Patrice SOULLIE**  
Délégué régional



**Microscop**  
Numéro 60 – mai 2010

**SOMMAIRE /3**

**Labo en direct**  
« Du nano au macro »

■ 4/

**Interview**  
Questions à Claudine KIEDA

■ 7/

- Biologie**
- Ces symbiotes qui manipulent l'immunité... 8/
  - Rôles des transporteurs de sucres dans la physiologie de la plante 10/
  - Autisme à l'ère de la génétique 12/

**Environnement**  
Le monde fascinant de Titan, révélé par la mission Cassini-Huygens 14/

- Histoire**
- Les cathédrales, des édifices en « pierre armée » 18/
  - La philosophie dans les universités médiévales 20/

- Société**
- La pauvreté vaincue par le micro-crédit? 22/
  - L'exercice physique, un modérateur du vieillissement cérébral et cognitif 24

- Sociologie**
- Quels usages de l'image fixe ou animée par les sciences sociales? 26/

# « Du nano au macro »

Le 1<sup>er</sup> janvier 2010, P' est né de la fusion de six laboratoires de recherches. Cette nouvelle unité propre CNRS, spécialisée dans les domaines des sciences physiques et de l'ingénierie, est associée à l'université de Poitiers et à l'École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique (ENSMA).

L'institut concentre des activités de recherches sur la physique des matériaux, la mécanique des fluides, le génie mécanique et l'énergétique. Les applications qui en découlent, concernent les transports et l'énergie, avec une attention particulière aux aspects environnementaux.

Depuis plus de 60 ans, Poitiers accueille des laboratoires de physiques et d'ingénierie qui se sont au cours du temps appuyés sur une école d'aéronautique (l'ENSMA), la faculté des sciences de l'Université de Poitiers, l'École Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers, le CNRS et les collectivités territoriales. En 2004, cinq laboratoires des sciences pour l'ingénieur (le Laboratoire de Combustion et Détonique, le Laboratoire d'Études Aérodynamiques, le Laboratoire d'Étude Thermiques, le Laboratoire de Mécanique et Physique des Matériaux et le

Laboratoire de Mécanique des Solides) et un laboratoire de physique (le Laboratoire de Physique des Matériaux) se sont associés dans le cadre d'une fédération « PPRIMME ». Pendant 5 ans, les laboratoires ont développé de nombreuses collaborations, tout en restant très indépendants. Pour faciliter et augmenter les échanges d'idées, de matériels et de personnels, une seule et unique structure a été créée : l'institut P'.

## L'offre de l'institut P'

La recherche réalisée à l'interface de deux disciplines n'est possible que si elle se fait en collaboration avec d'autres compétences. Le rayonnement international et national de l'Institut P' est de ce fait fortement basé sur la couverture des recherches et des compétences qu'offre le nouveau laboratoire. Il propose ainsi une structure cohérente et d'excellence dans les domaines des matériaux, de la mécanique des fluides, du génie mécanique et de la physique en partenariat avec des industriels. Cette offre est en outre très attractive pour les étudiants et les chercheurs.

Enfin, il faut noter que les thématiques de P' sont placées dans un secteur essentiel des sciences pour l'ingénieur et les activités contractuelles sont de ce fait très fortes. Les contrats avec le secteur industriel sont une source majeure dans le budget de l'institut. Néanmoins, avant la création de l'institut, chaque laboratoire avait ses propres contacts avec des entreprises sur des sujets très précis. Dorénavant, la valeur ajoutée de P' est de proposer un continuum de compétences aux industriels. En aéronautique notamment, l'institut traite aussi bien les parties chaudes des moteurs que les parties externes, froides : combustion et aérodynamique



Contrôle du bruit de jets par microjets convergents

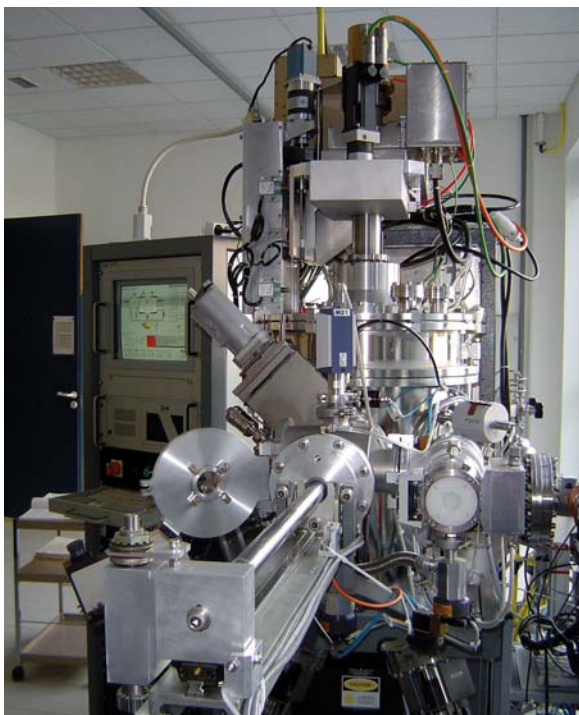
externe, thermique des chambres et des dégivrages, matériaux d'allègement des structures et de composants hautes températures, etc.

## L'organisation scientifique

544 personnes composent l'institut : 180 enseignants-chercheurs de l'université et de l'ENSMA, 45 chercheurs du CNRS, 109 ITA, 170 doctorants et 40 post-doctorants et ingénieurs contractuels. Elles se répartissent dans trois départements de recherche :

- « Physique et Mécanique des Matériaux », sur les relations entre la microstructure, les défauts et les propriétés physique et mécanique des matériaux.
- « Fluides, Combustions, Thermique » sur les écoulements et les transferts associés en milieu réactif ou non : aérodynamique et aéroacoustique, thermique, combustion et détonations.
- « Génie Mécanique et Systèmes Complexes », sur les comportements

Machine de dépôt de matériaux en films minces de type magnétron.



mécaniques des structures et des systèmes complexes, tribologie, étanchéité, robotique, mécanique expérimentale et des gestes sportifs.

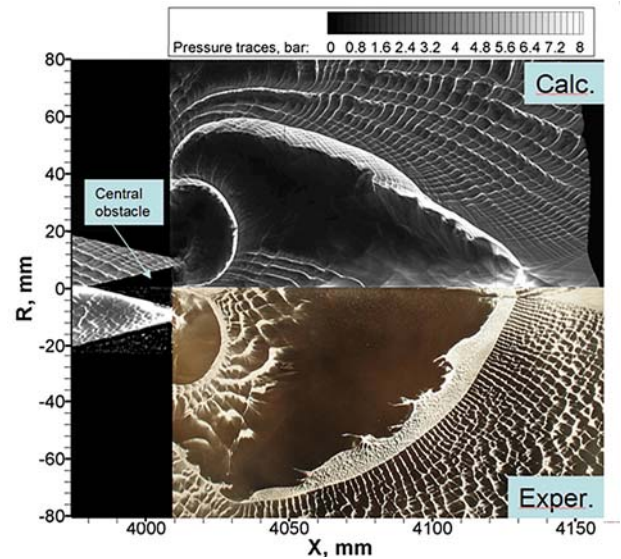
### Des moyens expérimentaux de pointe

P' réunit d'importantes installations expérimentales. La structure propose à ses partenaires scientifiques et industriels des moyens expérimentaux de pointe dont certains sont uniques en France et en Europe. Ces installations lourdes sont utilisées dans les domaines de la combustion, de l'aérodynamique, de l'étude des matériaux en conditions extrêmes, de l'élaboration de matériaux et de couches minces par plasma ou irradiation, des outils d'analyses en microscopie électronique ou aux rayons X, etc. Des moyens d'essai sont proposés en aérodynamique et aéroacoustique pour des études de jets chauffés dans des conditions réalistes de jets de lanceurs spatiaux ou de réacteurs d'avions, pour le contrôle des écoulements des gaz sur une voilure ou les bruits de jets. Un tunnel hydrodynamique est également disponible pour des études du sillage de maquettes tracées dans ou à la surface de l'eau. Les problèmes d'étanchéité et de lubrifica-

tion sont aussi abordés avec des installations lourdes. Des plates formes de test des performances humaines et de robotique complètent ces installations. La force de l'institut est de proposer des instruments qui se positionnent entre les très grandes installations nationales et européennes et les équipements classiques de laboratoire.

### Une recherche aux interfaces

Les équipes scientifiques développent des recherches à l'interface des domaines de la physique et ceux des sciences pour l'ingénieur: des matériaux à l'aérodynamique, à la combustion et à la thermique, jusqu'au génie. Il existe de fait, aux frontières de ces disciplines classiques, une marge de créativité qui attire de plus en plus de chercheurs. Ces études présentent toujours un cadre théorique; dans chaque département, des théoriciens-numériciens sont présents en plus des expérimentateurs sur les plateformes instrumentales. Les chercheurs s'intéressent au changement d'échelle du nanomètre au micromètre des matériaux, de l'atome à la mise en forme d'une pièce usinée, au devenir de cette pièce en condition d'usage (fatigue, fissuration), jusqu'à l'appareil qui



*Diffraction d'une détonation d'un tube en espace libre*

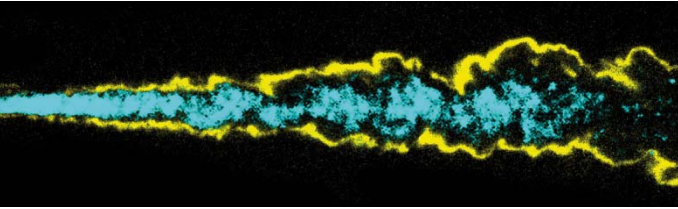
l'intègre et à son environnement. 80 % des études menées dans les différentes équipes ont pour objectif la réduction de l'impact sur l'environnement du transport (pollution, consommation, bruit, etc.) ou la réduction des dépenses d'énergie.

### Des cycles thermiques dans les hélicoptères

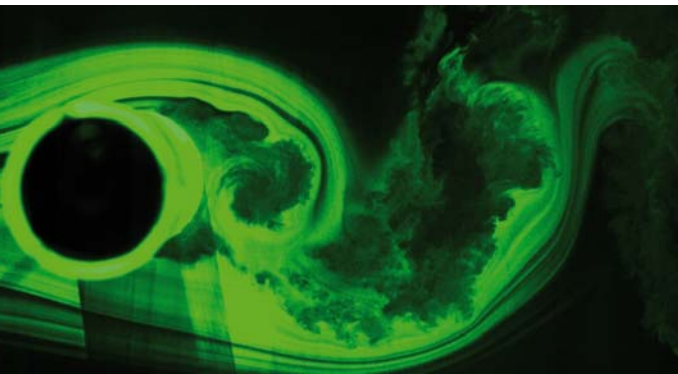
Dans certaines applications aéronautiques, se posent des problèmes de « cyclage » des moteurs d'hélicoptères. Dans certaines conditions d'usage, ceux-ci peuvent être amenés à fonctionner dans des conditions anormales. Un hélicoptère a deux moteurs, quand l'un d'eux tombe en panne, le pilote donne toute la puissance disponible sur l'autre moteur. Toutefois, il ne peut pas maintenir cette puissance pendant très longtemps au risque de « griller » le moteur restant. Il arrête donc le moteur qui se refroidit, puis le relance. On parle de « cyclage ». Certaines pièces mécaniques peuvent ainsi monter très rapidement en température jusqu'à plus de 1 500 °C, elles vont ensuite se refroidir et se réchauffer encore, et ce de façon cyclique. Ce cycle thermique peut entraîner une fatigue prématurée des pièces, voire leur rupture. Il est donc important de concevoir et de tester ces pièces de façon expérimentale. P' réunit



*Le banc d'essais d'étanchéité « BALAFRE », Banc palier à air: comportement statique et dynamique des paliers aérodynamiques (vitesse de rotation maximale 6 krpm).*



Combustion d'un jet de  $H_2$  dans un écoulement d'air  
(Visualisation PLIF simultanée:  $OH$ , = acétone).



Recollement sur profil par plasma

les diverses compétences scientifiques et techniques pour répondre à ce besoin des industriels aéronautiques: des chercheurs en combustion, des thermiciens, des physiciens des matériaux, des chercheurs en mécanique des fluides, et en mécanique des matériaux. Une soufflerie, en cours d'installation, permettra à terme de tester les moteurs dans les conditions de cycles thermiques.

### Complémentarité des problématiques aérodynamiques

Les transports terrestres et aéronautiques sont confrontés à des problèmes communs. Lors du déplacement d'une voiture, d'un train, d'un avion ou d'une fusée, des tourbillons d'air sont générés. Ils interagissent avec les parois du véhicule et génèrent des bruits et vibrations. Cette problématique, à la fois fondamentale et appliquée, est à la limite de l'acoustique et de la mécanique d'interaction fluide/structure. Le côté appliqué consiste à réduire les bruits propagés à l'intérieur du véhicule (protéger les passagers ou des instruments fragiles embarqués), réduire la traînée du véhicule et réduire le bruit

dans l'environnement. Ces dernières années, la forme générale des véhicules a été optimisée; la modification de la géométrie des moteurs d'avion a permis en 20 ans de diminuer leur bruit de 20 dB. Il est également possible de perturber les écoulements de fluides sur les parois d'un véhicule à l'aide de petits jets de gaz parallèles et complémentaires. Des chercheurs de P' envisagent par exemple de positionner des petits jets d'air au niveau de la vitre arrière d'une voiture pour réduire sa traînée. Ce dispositif améliorerait le coefficient de pénétration  $C_x$  du véhicule et diminuerait la consommation de carburant et l'émission de  $CO_2$ . Dans la même optique, une autre voie de recherche est l'utilisation de plasma pour l'aéronautique: la création d'un plasma sur une paroi changerait la nature même de l'écoulement de l'air. Il resterait « collé » le long des parois, ce qui permettrait aussi d'améliorer le  $C_x$ .

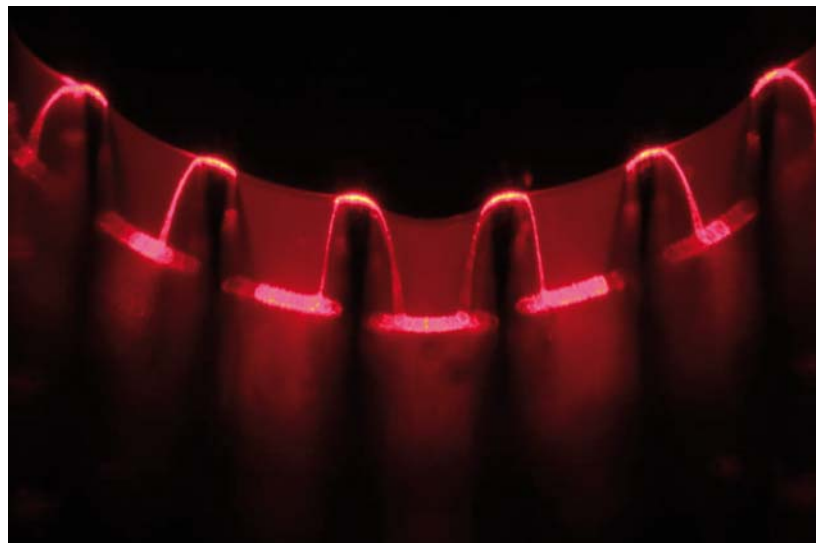
### De nouveaux matériaux

Une autre activité transverse de l'institut concerne des matériaux appelés phase MAX (acronyme relatif à la composition du matériau: le M pour un métal, le X pour carbone, ou azote, A: un

élément du groupe A dans le tableau périodique). Ils n'existent pas dans la nature. Leur structure, nano-lamellaire, est organisée sous forme d'alternances de plans atomiques présentant des propriétés différentes. Leurs propriétés mécaniques, de résistance à la corrosion et à de hautes températures, de conduction électrique et de conductivité thermique les rendent très intéressants. Ils présentent un excellent compromis entre les céramiques et les métaux.

L'institut travaille sur les moyens de les fabriquer sous des formes exploitables industriellement. En fonction des différents processus de synthèse, ils caractérisent leurs propriétés, entre autres mécaniques. Ils étudient les processus de déformation à l'échelle des dépôts mis en jeu (de l'ordre du nanomètre), pour ensuite comprendre le comportement d'une pièce dans son ensemble à l'échelle macroscopique. Les applications sont multiples: des pièces de moteur en aéronautique, des revêtements de contacteurs électriques, des revêtements intérieurs de canalisations ou de réservoirs de fluides corrosifs, etc. ■

Éric DARROUZET



Visualisation de l'écoulement de liquide dans les micro-rainures d'un caloduc.



## QUESTIONS À Claudine KIEDA

Biochimiste au Centre de Biophysique Moléculaire à Orléans

### ■ *Quel est votre parcours ?*

J'ai fait mes études à Orléans dans le domaine alors très innovant des glycoconjugués. En 1978, à la suite de ma thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, la situation financière était aussi difficile qu'aujourd'hui. Pour poursuivre ma carrière de chercheur, j'ai postulé au prestigieux concours EMBO (European Molecular Biology Organization) et ai obtenu une bourse qui m'a permis de partir en stage postdoctoral dans le laboratoire du professeur Nathan Sharon en Israël. J'ai découvert quelqu'un qui a l'énorme qualité de laisser les jeunes s'exprimer. C'est un homme extraordinaire d'une grande ouverture d'esprit, qui sait écouter et qui, quand on lui suggère une idée, l'étudie puis vous laisse l'approfondir. Après un an, je suis revenue à Orléans pour ma thèse d'état, au Centre de Biophysique Moléculaire, avec une bourse de la Ligue Nationale contre le Cancer. Fin 1980, j'ai obtenu un poste de Chargée de Recherche au CNRS et suis partie en post-doc aux États-Unis, à Bethesda. C'était un endroit absolument idéal pour la recherche et la formation. Je me suis inscrite à des cours de biologie cellulaire et d'immunologie, dispensés par les plus grands spécialistes

mondiaux. Tout en continuant à m'intéresser à la biophysique, je me suis dirigée de plus en plus vers la biologie. Malgré des propositions très alléchantes pour rester aux États-Unis, j'ai senti le devoir très clair de revenir au CNRS en France en 1983. De retour à Orléans, j'ai été lauréate d'une médaille de bronze du CNRS. J'ai eu l'opportunité de mettre en place au CBM ma propre thématique de recherche et de diriger un petit groupe.

Depuis, j'ai développé des collaborations nationales et internationales. Mes origines m'ont tout naturellement orientée vers la coopération avec les chercheurs polonais. En 1995, j'ai coordonné un programme TEMPUS d'échanges d'étudiants avec l'Université de Cracovie. Le programme s'est développé jusqu'à la création d'un réseau de recherche sur le cancer. Ce réseau est reconnu par les gouvernements français et polonais. Il regroupe 12 équipes polonaises et 12 équipes françaises. En 2009, le Président de l'Académie des sciences de Pologne m'a remis la médaille Nicolas Copernic, la plus haute distinction scientifique de l'Académie des Sciences de Pologne, pour mon implication dans ce réseau et surtout pour les avancées scientifiques apportées par cette collaboration.

### ■ *Sur quoi travaillez-vous ?*

En thèse, j'ai travaillé dans le domaine de la glycobiochimie, c'est-à-dire sur des molécules (glycoprotéines) impliquées dans les phénomènes de reconnaissances cellulaires. Parmi ces glycoprotéines, je me suis particulièrement intéressée aux lectines. Ces molécules interagissent avec la partie glucidique (sucre) des glycoprotéines placées à la surface des cellules. Nous avons montré que ces lectines, d'abord découvertes chez les végétaux, étaient aussi présentes dans les lymphocytes de mammifères.

Les lectines peuvent se lier spécifiquement à certaines cellules. Nous les avons alors utilisées comme outil d'étude de la différenciation des cellules normales et des cellules pathologiques, comme des cellules cancéreuses. Puis, nous avons développé un moyen de lutte contre les cellules cancéreuses en fixant sur ces vecteurs un composé cytotoxique.

Enfin, je travaille sur l'étude du rôle du micro-environnement tumoral ; en particulier sur le recrutement des cellules endothéliales par les cellules cancéreuses formant l'angiogénèse dite tumorale afin que les tumeurs soient irriguées par la circulation sanguine. Tout cela passe par des phénomènes de communications intercellulaires complexes.

### ■ *Auriez-vous un ou des messages à faire passer ?*

Je remarque que dans le système de recherche français comme divers autres, les jeunes qui sont formés doivent partir en post-doc, ceci est fondamentalement important et je dirai, indispensable. Mais ils ont du mal à trouver un poste au retour en France. Cela les effraie et souvent, ils restent à l'étranger là où on leur propose du travail. Puis le cycle reprend avec d'autres jeunes. Il faudrait revoir ce système afin que les flux soient naturellement équilibrés.

En outre, étant au CNRS, je pense qu'il est aussi de notre devoir de faire de l'enseignement. C'est d'abord très bien pour nos neurones qui sont obligés de faire le point régulièrement sur des sujets en rapide et perpétuelle évolution. Ensuite, le contact avec des jeunes enthousiastes et pleins de curiosité est très enrichissant. Il faut donc le plus possible de rapprochement entre les Universités et le CNRS. ■

Propos recueillis par  
Éric DARROUZET et Titaina GIBERT

# Ces symbiotes qui manipulent l'immunité...

***Wolbachia* est une bactérie hébergée par près de 30 à 60 % des espèces d'arthropodes. Principalement connue pour sa capacité à agir sur la reproduction de son hôte afin d'augmenter sa propre transmission, elle influe aussi sur l'immunité.**

Par leur nombre et leur diversité, les arthropodes (insectes, crustacés, araignées...) occupent une place essentielle dans tous les écosystèmes et peuvent coloniser tous les types d'habitats. Ce succès évolutif dépend en partie de leur capacité à lutter contre toutes sortes de micro-organismes pouvant altérer leur survie et leur reproduction. Le système immunitaire des arthropodes est capable de déclencher une réponse spécifique et adaptée aux différents types d'agresseurs (bactéries, champignons, virus). Cette réponse fait intervenir deux types d'effecteurs intimement liés : les effecteurs cellulaires, acteurs de la phagocytose et de l'encapsulation des micro-organismes, et les effecteurs humoraux qui incluent les cascades de mélanisation et de coagulation ainsi que la mobilisation des peptides antimicrobiens.



© A. Lafitte LEES UMR 6556

*Armadillidium vulgare, modèle phare du LEES*

## L'association symbiotique

Les arthropodes forment une multitude de symbioses avec les micro-organismes de leur environnement. Le terme « symbiose » a été défini en 1879 pour décrire la vie en association de deux organismes spécifiquement distincts, l'hôte et le symbiote. Le concept de symbiose a ensuite été précisé en fonction de la balance des coûts/bénéfices de l'association symbiotique sur le succès reproducteur de chaque organisme. Sont ainsi opposées classiquement les associations de type parasitaire (dans lequel le symbiote tire profit de son hôte en lui infligeant un coût) et les associations de type mutualiste (dans lesquelles les deux partenaires bénéficient de l'association). Le symbiote connu à ce jour comme étant

le plus répandu dans la biosphère est *Wolbachia*, une protéobactérie intracellulaire hébergée par près de 30 à 60 % des espèces d'arthropodes. Chez ces hôtes, les *Wolbachia*, qui ne sont transmises que par les femelles à leurs descendances, manipulent la reproduction afin d'augmenter leur propre transmission. Pour cela, elles ont sélectionné diverses stratégies qui consistent à :

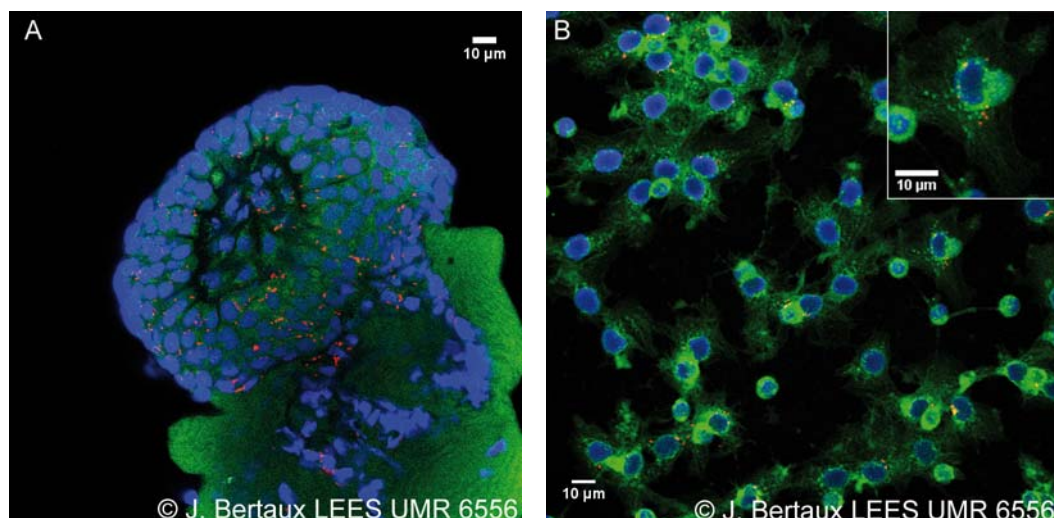
- empêcher la reproduction des femelles non infectées avec les mâles infectés,
- à tuer les mâles porteurs de la bactérie ou à transformer ces mâles en femelles afin d'augmenter la proportion de femelles dans une population. C'est par rapport à ces différents effets que l'on a qualifié les *Wolbachia* de « parasites de la reproduction ».



© F.-J. Richard LEES UMR 6556

Membres du LEES étudiant les interactions qui existent entre *Wolbachia* et le système immunitaire des isopodes : au premier rang Joanne Bertaux, Mathieu Sicard, puis Frédéric Chevalier, Christine Braquart-Varnier, Pierre Grève et Didier Bouchon.





Détection *in situ*  
Hybridation *in situ*  
fluorescente de  
*Wolbachia* (rouge)  
dans les organes  
hématopoïétiques (A)  
et dans les hémocytes  
(B) d'*A. vulgare*.  
Microscope confocal  
Olympus (IBCP  
Poitiers), objectif 60x.  
Rouge: sonde W1,2-  
Cy3, bleu: noyaux  
(DAPI), vert:  
Phalloïdine.

### Un effet protecteur

Cette aptitude à manipuler la reproduction ainsi que leur très large répartition font de ces bactéries symbiotiques des agents prometteurs pour l'élaboration de stratégies de lutte biologique respectueuses de l'environnement. En effet, certains hôtes de *Wolbachia* sont vecteurs de maladies humaines (Paludisme, Dengue) ou ravageurs de cultures (Arbres fruitiers...). Aussi, la compréhension des conditions de maintien et de régulation de la bactérie chez les différents types d'arthropodes est un pré-requis à l'application des stratégies de lutte basées sur l'utilisation de cette même symbiose.

C'est dans ce contexte que différentes études ont mis en évidence que *Wolbachia* ne manipulait pas seulement la reproduction mais également d'autres paramètres fondamentaux de la vie de leurs hôtes telle l'immunité. En 2008, deux équipes de recherche anglaise et australienne ont montré que *Wolbachia* conférait une protection antivirale aux mouches du genre *Drosophila*. Face à ce résultat prometteur, les chercheurs australiens ont tenté l'introduction expérimentale de souches de *Wolbachia* dans des moustiques vecteurs de virus pathogènes humains tels la Dengue et le Chikungunya mais également de protozoaires comme l'agent du paludisme. Par cette approche, ils ont montré que

la présence de la bactérie dans le moustique pouvait induire une réponse immunitaire de celui-ci aboutissant à la réduction voire même à l'élimination des pathogènes humains qu'ils transportent. Ce résultat a ainsi ouvert la possibilité de l'utilisation de *Wolbachia* pour réduire la transmission de pathogènes par les arthropodes vecteurs.

### La modification des capacités immunitaires

À l'opposé de cet effet protecteur, deux équipes européennes ont révélé que les *Wolbachia* peuvent également avoir un impact négatif sur la compétence immunitaire de leurs hôtes. Ainsi, en 2006 une équipe anglaise a montré qu'une souche de *Wolbachia* diminue les capacités d'encapsulation de son hôte *Drosophila simulans* qui, de ce fait, devient beaucoup plus sensible aux guêpes parasitoïdes. Depuis 2008, le Laboratoire Écologie, Évolution, Symbiose (UMR 6556 CNRS/Université de Poitiers), a mis en évidence que ces bactéries modifient les capacités immunitaires de leurs hôtes crustacés terrestres au cours de leur vie. Le laboratoire a démontré qu'elles sont présentes dans tous les tissus y compris (et cela est une première) dans les cellules immunitaires (hémocytes) et dans les organes hématopoïétiques qui les produisent. Une étude par hybridation

*in situ* des *Wolbachia* dans les hémocytes a montré l'ampleur de l'infection des cellules immunitaires avec plus de 40 % des hémocytes infectés. L'analyse de la composante cellulaire de la réponse immunitaire des animaux infectés a révélé que certaines souches de *Wolbachia* entraînent un vieillissement prématuré des animaux menant à une diminution du nombre d'hémocytes circulants. Paradoxalement, les hémocytes d'animaux infectés semblent moins sensibles aux phénomènes de mort cellulaire que ceux d'animaux non infectés. Les mesures relatives à l'activité humorale de ces animaux (activité phénoloxydase, synthèse de peptides antimicrobiens) suggèrent également une immunodépression causée au fil du temps par la bactérie. L'ensemble de ces données montre que les animaux porteurs de *Wolbachia* seraient moins immunocompétents que les animaux sains peut-être par une accélération du phénomène de sénescence chez les porteurs qui s'observe sur les deux composantes de la réponse immunitaire. ■

#### Contacts:

Christine BRAQUART  
christine.braquart@univ-poitiers.fr  
Mathieu SICARD  
mathieu.sicard@univ-poitiers.fr

# Rôles des transporteurs de sucres dans la physiologie de la plante

Des travaux de recherche réalisés sur l'Arabette de Thalius (*Arabidopsis thaliana*), modèle d'étude en biologie végétale, ont pour objectif de comprendre le rôle des différents transporteurs de sucre dans les flux de sucre *in planta*. Pour cela, des modifications sont provoquées par des stress biotiques ou abiotiques.

## Les sucres : origine et destination

Les sucres, en particulier le saccharose, sont les principaux produits de la photosynthèse qui se déroule dans les feuilles adultes qualifiées d'organes sources car exportatrices de saccharose. Le saccharose est ensuite distribué *via* la sève phloémienne qui circule dans des cellules particulières, les cellules criblées, vers les organes puits c'est-à-dire non photosynthétiques de la plante : racines, fleurs, fruits...

Les transporteurs de sucre sont responsables des flux de sucre au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière. Ces protéines insérées dans les membranes cellulaires interviennent dans le transport à courte distance à savoir de cellules à cellules et à longue distance, d'organes à organes en permettant l'entrée du saccharose dans le phloème. Ce transport de sucre dans les organes puits implique différentes étapes comme le chargement en saccha-

rose de la sève phloémienne au niveau des fines nervures des feuilles matures et son déchargement au niveau de chacun des organes puits.

Afin de comprendre le rôle de chacun des nombreux transporteurs de sucre présents dans la plante, le Laboratoire de catalyse en chimie organique, équipe Physiologie Moléculaire du Transport des Sucres chez les Végétaux (UMR 6503 CNRS/Université de Poitiers) étudie les variations de l'expression des gènes correspondants dans des conditions où la plante s'adapte à de nouvelles contraintes environnementales comme un stress hydrique ou une attaque par des pathogènes.

## Les transporteurs de sucre : famille multigénique

C'est dans les années 90 que les premiers transporteurs d'hexose et de saccharose ont été clonés et caractérisés. Le séquençage du génome d'*Arabidopsis* a mis en évidence l'existence de familles multigéniques, 9 transporteurs de saccharose et 14 de monosaccharide rendant d'autant plus difficile l'attribution d'un rôle de chacun de ces transporteurs. Cependant, l'abondance de données sur *Arabidopsis* et l'existence de mutants d'insertion sur les différents transporteurs de sucre permettent d'acquérir de nouveaux résultats.

## Contraintes environnementales et adaptations des plantes

Le système racinaire est très dynamique

et malléable, il doit répondre aux besoins de la plante en s'adaptant aux modifications de l'environnement. Ainsi, lorsque les ressources en eau et en minéraux deviennent limitées, une des réponses de la plante est de privilégier le développement des racines afin d'augmenter la capacité de prospection du sol et de prélèvement de l'eau. Les sucres indispensables au développement des racines sont aussi orientés préférentiellement vers cet organe au détriment des parties aériennes.

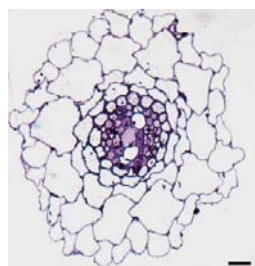
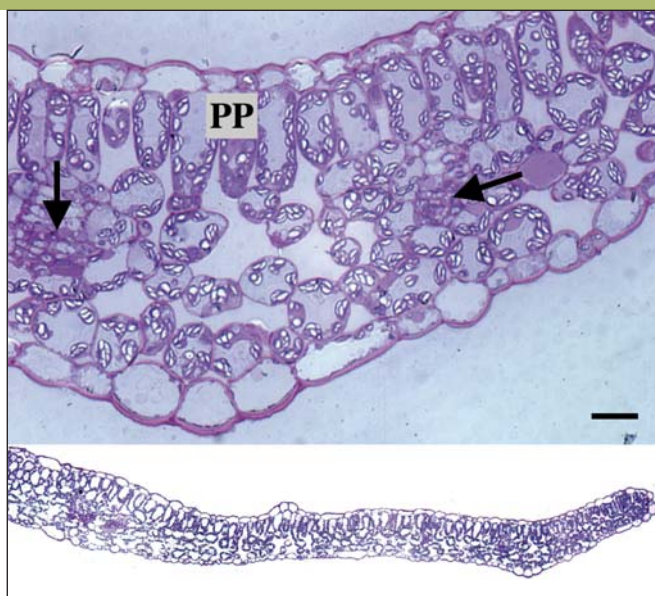
Par ailleurs, les plantes constituent une source de glucide pour de nombreux ravageurs à l'image du puceron, homoptère qui prélève des sucres de la sève phloémienne. De nombreux agents pathogènes, comme des bactéries, champignons et mycoplasmes utilisent aussi à leur profit les sucres contenus dans des cellules. En réponse à ces attaques, la plante met en place des mécanismes de défense, dont les modifications de flux de sucre, pour limiter la prolifération du pathogène.

## Les racines : interface plante-sol

Les racines sont des organes dont la fonction est multiple ; absorption d'eau et d'ions minéraux, ancrage de la plante, excrétion, stockage et conduction. La structure et la composition du sol est modifiée par l'activité de ces dernières. Les racines sont l'interface plante-sol notamment au travers des transferts de molécules carbonées. En effet, la rhizosphère est un lieu d'échanges entre les racines et les micro-organismes présents. Le développement de ces

Plantule d'*Arabidopsis thaliana* âgée de 20 jours.





Coupe transversale de racine d'*Arabidopsis thaliana*. Mise en évidence des faisceaux conducteurs, phloème et xylème, dans le cylindre central. Coloration au bleu de toluidine. Échelle 50  $\mu\text{m}$ .

Coupe transversale de feuille d'*Arabidopsis thaliana*. Mise en évidence du parenchyme palissadique (PP) lieu de la photosynthèse, et des faisceaux conducteurs ou nervures (flèches) formés du phloème lieu d'accumulation du saccharose et du xylème. Présence d'amidon dans les chloroplastes. Coloration au bleu de toluidine. Échelle 50  $\mu\text{m}$ .

derniers est lié à la présence d'exsudats racinaires constitués entre autres par des sucres. Le mucilage, par exemple, est composé de sucre (95-97 %) et d'acides aminés (3-5 %). Il a été estimé que 20 à 25 % du total du carbone réduit par la photosynthèse peuvent être relargués par les racines. Cette source de carbone, perdue par la plante, est un facteur important pour la colonisation des racines par des micro-organismes. Ces derniers peuvent être pathogènes ou au contraire avoir un effet favorable sur le développement des plantes (établissement de symbioses). Il existe également des bactéries non symbiotiques comme les plants "growth-promoting bacteria" (PGPB) qui stimulent le développement de racines latérales. Là aussi, une réorientation des flux de sucre se produit.

#### Localisation des transporteurs de sucre

Au laboratoire, plusieurs transporteurs de sucre sont en cours de caractérisation notamment au niveau de leur activité (capacité de transport) et de leur localisation dans la plante. Ces informations sont indispensables pour déterminer les flux de sucre associés à l'activité de ces transporteurs. Différentes techniques sont utilisées permettant une localisation tissulaire, cellulaire ou sub-cellulaire.

Pour certains transporteurs, des fusions avec la GFP (protéine fluorescente dont le gène provient d'une méduse) permettent de suivre le devenir de la

protéine dans les tissus et dans les différents compartiments de la cellule. La localisation du transporteur AtSUC2 dans le phloème, que ce soit au niveau des feuilles avec une expression de la GFP est visible dans les nervures ou dans les racines au niveau des faisceaux conducteurs contenus dans le cylindre central. Cette observation concerne la racine principale et les racines secondaires. Il faut noter qu'il n'y pas d'expression de ce transporteur dans la pointe racinaire. Malgré leur importance pour la plante, les mécanismes d'importation du saccharose dans les racines et de déchargement depuis le phloème sont encore mal compris. Pour faire varier les flux de sucre dans la plante, il est aussi possible d'abolir ponctuellement l'expression d'un transporteur de sucre.

En effet, l'étude de plantes où l'expression d'un des transporteurs de sucre a volontairement été supprimée (mutant d'insertion) permet de mesurer l'impact de l'absence de ce transporteur sur cette plante. Par exemple, la suppression de l'expression d'AtSUC2 empêche le développement normal de la plante. Le laboratoire compte aussi déve-

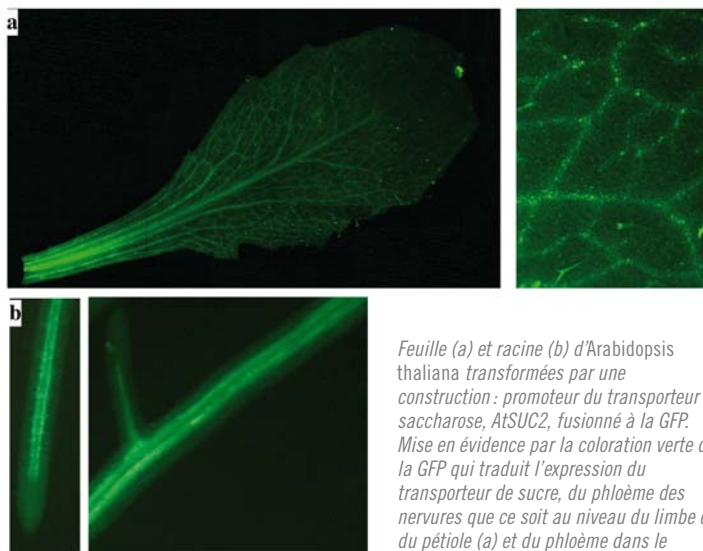
lopper des doubles voire des triples mutants (suppression de l'expression de 2 ou 3 transporteurs de sucres) en raison de la redondance dans l'expression de certains transporteurs.

L'ensemble des données laisse à penser que des variations de flux de sucre engendrées par des modifications de l'expression des transports de sucre pourraient se traduire par une amélioration de la productivité et de la résistance des plantes. ■

#### Contacts:

Fabienne DEDALDECHAMP  
fabienne.dedaldechamp@univ-poitiers.fr

Rémi LEMOINE  
remi.lemoine@univ-poitiers.fr



Feuille (a) et racine (b) d'*Arabidopsis thaliana* transformées par une construction : promoteur du transporteur de saccharose, AtSUC2, fusionné à la GFP. Mise en évidence par la coloration verte de la GFP qui traduit l'expression du transporteur de sucre, du phloème des nervures que ce soit au niveau du limbe et du pétiole (a) et du phloème dans le cylindre central (b).

# Autisme à l'ère de la génétique

Les approches rationnelles d'analyses des données épidémiologiques ont permis de poser l'hypothèse de l'implication de facteurs génétiques dans l'autisme qui a longtemps été considéré comme une maladie non organique.

## De l'épidémiologie à la génétique Mendélienne

L'autisme, qui touche en moyenne 1 enfant pour 1 000 dans une proportion de 4 garçons pour une fille, se caractérise par une anomalie du développement neuropsychologique portant de façon prédominante sur les fonctions de socialisation et de communication. Ce tableau clinique s'accompagne fréquemment d'une épilepsie (10 à 60 % des cas) ou d'une déficience mentale (70 % des cas). Longtemps considéré comme la conséquence d'un comportement psychopathologique parental anormal, et particulièrement maternel, la prise en compte des données épidémiologiques anciennes permet d'impliquer l'existence d'une forte composante génétique: excès de garçons, plaidant pour des formes de transmission récessive liées au chromosome X, mise en évidence chez certains sujets de remaniements chromosomiques avec implications de régions préférentielles, variation du taux de concordance entre jumeaux monozygotes (90 %) et dizygotes (inférieur à 5 %). L'existence de formes génétiques mendéliennes a été confirmée en 2003 par la mise en évidence d'une mutation du gène neurologine 4 (*NLGN4X*) chez deux frères dont l'un présentait un syndrome d'Asperger et l'autre un autisme sans déficience mentale. Par ailleurs, l'existence d'un continuum clinique allant du syndrome d'Asperger à la déficience mentale est apparue rapidement par la description en 2004 par une équipe de recherche à Tours d'une mutation de ce même gène

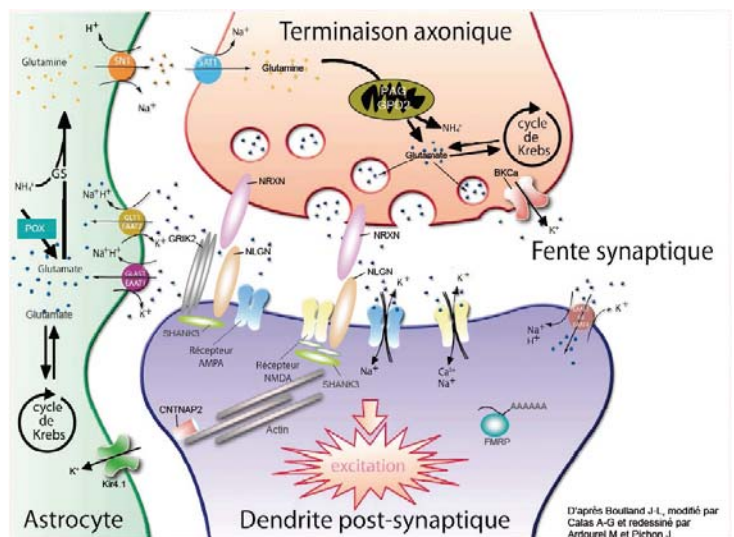
chez des sujets autistes retardés avec ou sans autisme d'une famille multiplex.

## La synapse à glutamate

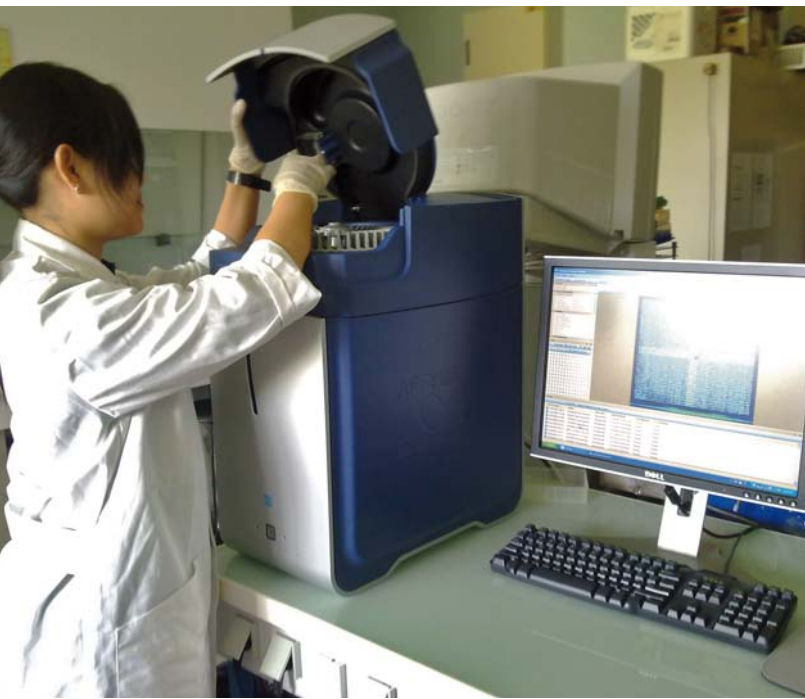
Les synapses constituent des zones de jonction entre deux neurones ou entre un neurone et une cellule effectrice (cellule musculaire par exemple) permettant la transmission d'une information de l'un à l'autre. Dans une synapse, l'extrémité de l'axone du neurone pré-synaptique contient des vésicules remplies de neuromédiateurs, tel que le glutamate. L'arrivée d'un influx nerveux provoque la migration des vésicules et leur fusion avec la membrane du neurone et la libération des molécules de neuromédiateurs dans l'espace synaptique. Une fois libérées, ces molécules vont se fixer sur les récepteurs

membranaires spécifiques de la cellule post-synaptique, ce qui déclenche chez cette dernière une réponse appropriée (nouvel influx nerveux s'il s'agit d'un neurone, contraction s'il s'agit d'une cellule musculaire, etc.). La synapse est donc le relais chimique qui assure la transmission de l'influx nerveux entre deux neurones.

Dès l'identification des premières mutations des gènes des neurologines (*NLGN*), l'hypothèse de l'implication de cette structure (synapse à glutamate) dans la physiopathologie de l'autisme a été posée. En effet, ces gènes codent des protéines d'adhésion importantes dans la mise en place et le fonctionnement de la synapse excitatrice à glutamate. La mise en évidence de mutations d'autres gènes codant des protéines de



Représentation simplifiée du fonctionnement de la synapse à glutamate et de son environnement astrocytaire.



Plateforme « GeneChip ».



cette structure a rapidement confirmé cette présomption. Parmi ces gènes, nous citerons le gène *KCNMA1* qui code la sous-unité alpha du canal potassique BKCa, *SHANK3* qui code une protéine « d'échafaudage » impliquée dans l'organisation des dendrites neuronales, en interaction avec les neuroligines, *GRIK2* et *GRIA3*, deux récepteurs au glutamate ou encore *CNTNAP2* (neurexine, NRX) dont la protéine interagit avec les neuroligines.

#### Apports des nouveaux outils d'exploration du génome

Ainsi des résultats obtenus à ce jour prouvent clairement l'existence d'une composante génétique causale de l'autisme. Cependant il est à noter que l'ensemble des mutations géniques décrites n'explique qu'une faible partie des cas étudiés. De nombreux gènes sont donc probablement en cause. L'identification de nouveaux gènes reste donc un des challenges importants pour la compréhension des mécanismes physiopathologiques qui aboutissent à l'autisme.

La caractérisation de remaniements génomiques chez les patients autistes était réalisée jusqu'à récemment par des techniques de cytogénétique classiques (caryotype, hybridation *in situ*...). Cependant, ces études se heurtaient à la faible résolution de ces approches. En effet, les remaniements chromosomiques (délétions/duplications) détectés sont de quelques millions de bases pour des analyses chromosomiques classiques et, quelques dizaines de kilobases pour l'hybridation *in situ* ciblée. Cette contrainte de résolution a disparu avec l'émergence des techniques hautes résolutions d'analyse du génomique que sont l'hybridation génomique comparative sur puces ou « CGH-array ». Ces approches permettent maintenant d'observer des microremaniements chromosomiques de type délétion/duplication (CGH-Array et SNP-array) ou encore des variations du nombre de copie de taille variable (Copy Number Variants, CNVs) pouvant aller jusqu'à 1 kilobase (1 000 nucléotides). Ainsi, ces techniques permettent la mise en évidence de remaniements plusieurs millions de fois plus

petit que ceux visualisés lors des études du caryotype.

#### De la génétique à la physiopathologie

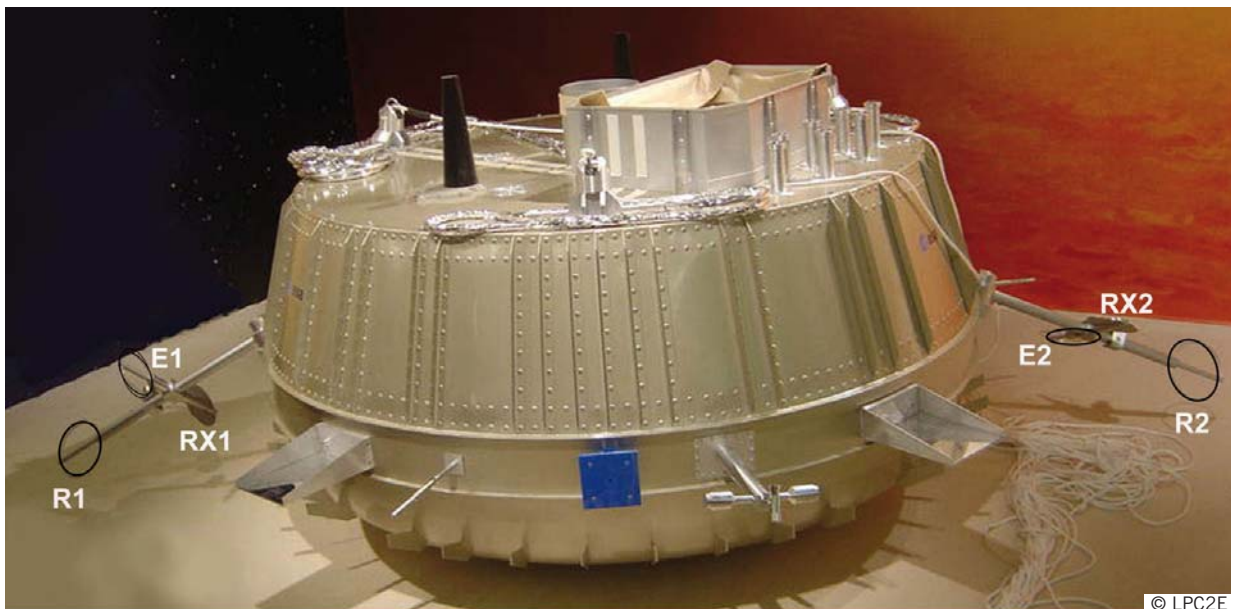
Une étude systématique d'une cohorte de patients autistes (à Orléans, Brest et Tours) est effectuée sur la plateforme puce (Affymetrix) hébergée dans le laboratoire d'Immunologie d'Embryologie Moléculaire (UMR6218 CNRS Université d'Orléans). C'est par cette approche que tout récemment l'équipe de Génétique expérimentale et moléculaire de l'IEM a pu mettre en évidence, chez un patient autiste, une délétion hétérozygote d'un gène déjà impliqué dans une forme syndromique de déficience mentale. La poursuite de ces analyses résolutive, associée à l'étude des modèles animaux, constituent une voie prometteuse pour la compréhension de cette pathologie. ■

#### Contacts:

Sylvain BRIAULT  
sylvain.briault@cnrs-orleans.fr  
Lekbir BAALA  
lbaala@cnrs-orleans.fr

# Le monde fascinant de Titan, révélé par la mission Cassini-Huygens

En 2009 s'est terminée la première phase d'exploitation de la mission interplanétaire Cassini-Huygens, une vaste opération spatiale réalisée conjointement par la NASA et l'Agence Spatiale Européenne (ESA) avec la contribution des agences des pays membres. Plusieurs groupes français soutenus par le CNES ont contribué notablement à cette mission, dont le Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E – CNRS/Université d'Orléans).



La sonde Huygens, avec les antennes de réception (R1-R2) et d'émission (E1-E2) et les sondes à relaxation (RX1-RX2) de l'expérience PWA

© LPC2E

Cette mission a été nommée ainsi en hommage à deux astronomes célèbres du 17<sup>ème</sup> siècle : Jean-Dominique Cassini, le premier directeur de l'Observatoire de Paris, spécialiste de Saturne, dont le nom a été donné à l'orbiteur qui continue à explorer cette planète et ses satellites, et Christian Huygens, mathématicien astronome et physicien Néerlandais, pour la sonde qui s'est posée en douceur à la surface de Titan le 14 janvier 2005. Les résultats exceptionnels obtenus ont convaincu la NASA et l'ESA de financer une « Extended Mission XEM » pour l'orbiteur, prolongée depuis septembre 2010 jusqu'en 2017. Outre les possibilités de mesures complémentaires offertes par cette extension, l'occasion sera donnée d'étudier le chan-

gement de saison du système saturnien, et de Titan en particulier. Le remarquable bilan scientifique déjà obtenu est brièvement dressé ici, limité à l'étude de Titan avec un regard particulier sur la contribution du LPC2E.

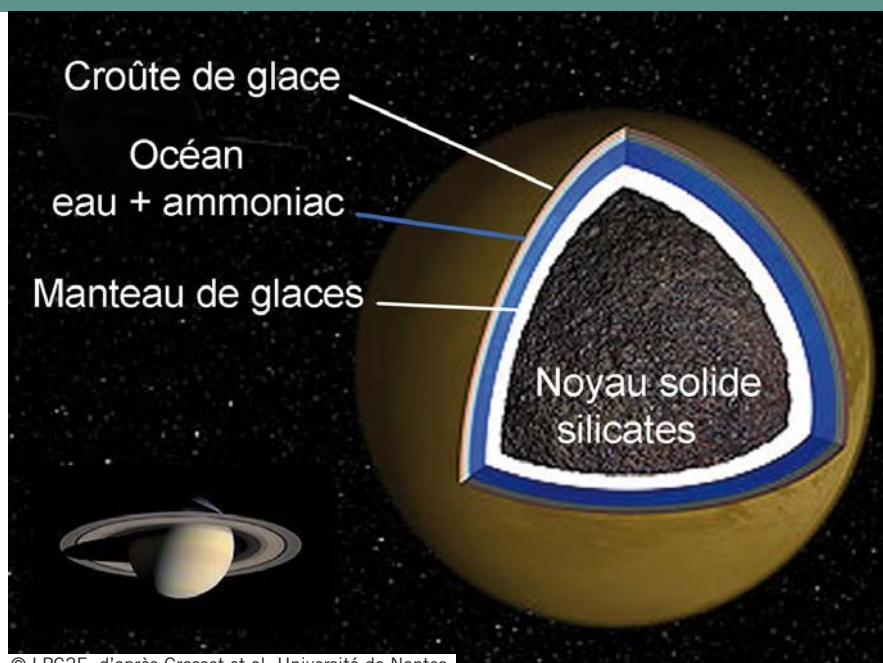
## Titan, presque une planète

Titan qui est le plus gros satellite de Saturne mériterait de figurer au rang des planètes, avec une atmosphère dense, une taille (2 575 km de rayon) supérieure à Mercure et Pluton, et des conditions initiales probablement requises à l'émergence de la vie, en plusieurs points semblables à celles qui sont supposées avoir existé sur Terre il y a quatre milliards d'années. De nos jours, Titan s'est refroidi au point que sa température de surface est proche de

-180 °C (93 à 95 °K), avec une pression atmosphérique 50 % supérieure à celle de la Terre, composée de 95 % d'azote et 4,5 % de méthane. Avec une telle proportion de méthane, sachant que ce gaz est un germe de molécules organiques, Titan détient probablement une réserve d'hydrocarbures unique dans tout le système solaire. Il a été aussi montré que ses réserves en eau sont plus importantes que sur Terre. L'intérêt des scientifiques pour cette *terra incognita*, toutes disciplines confondues, a ainsi atteint son paroxysme après les premières spéculations sur une possible activité biologique, voire prébiotique, suscitées dès la découverte du méthane atmosphérique par l'astronome Gerard Peter Kuiper en 1945.

### La mission Cassini-Huygens

La première phase de la mission Cassini-Huygens a été marquée par l'atterrissage de la sonde Huygens sur Titan le 14 janvier 2005, quelques mois après l'arrivée de l'orbiteur Cassini dans la banlieue de Saturne. Le LPC2E était impliqué dès le début du projet en 1994 dans la proposition et la réalisation de l'expérience PWA (Plasma Wave and Altimetry) à bord de Huygens, au sein d'un consortium de laboratoires européens pour mesurer la conductivité électrique de la haute atmosphère, ainsi que celle de la surface qui était totalement inconnue à l'époque (était-elle solide ou liquide?). Le second objectif était d'identifier d'éventuelles ondes électromagnétiques de basses fréquences. On pensait à des émissions dues aux éclairs d'orages semblables à ceux qui doivent avoir existé dans l'atmosphère primitive de la Terre, et être ainsi à l'origine de la synthèse de molécules organiques. Nenni de telles spéculations, aucun éclair n'a été observé sur Titan après plusieurs dizaines de survols par l'orbiteur Cassini jusqu'à moins de 1 000 km d'altitude. Néanmoins, les résultats obtenus par l'expérience PWA se sont révélés au-delà de toute espérance. Avant de les commenter brièvement, il convient de présenter ce monde fascinant découvert grâce aux nombreux instruments installés tant à bord de l'or-



© LPC2E, d'après Grasset et al, Université de Nantes

*Schéma théorique de l'intérieur de Titan*

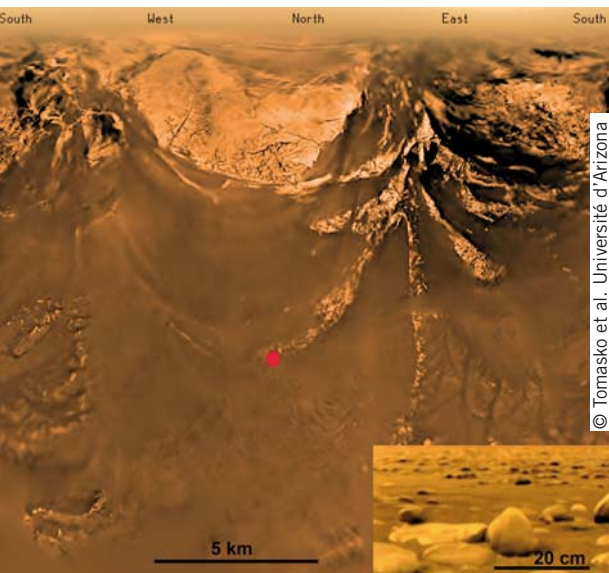
biteur que de la sonde Huygens : caméras, spectromètres, radars, analyseurs, magnétomètre, détecteurs d'émissions électromagnétiques, etc.

### Structure interne de Titan et topographie

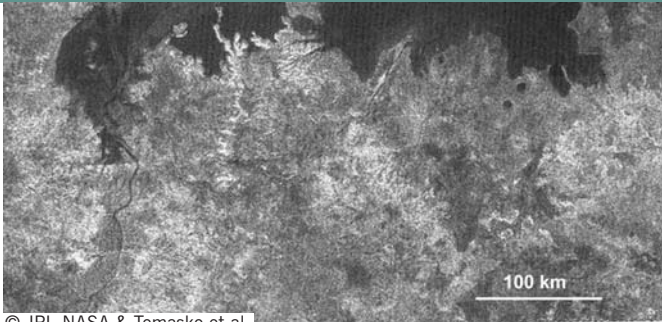
Comme tous les corps du système solaire issus de la nébuleuse primordiale, Titan résulte de l'accrétion de particules et d'astéroïdes riches en eau, silicates et composés azotés (radical NH) de la zone des planètes non telluriques au-delà de Mars. Grâce à la chaleur d'accrétion, tous les modèles prédisent l'existence d'un océan primordial d'eau ammoniacquée à la surface, avec dissociation du radical NH produisant la forte concentration d'azote atmosphérique observée de nos jours. En moins d'un milliard d'années, le noyau de silicates s'est refroidi et la couche superficielle de l'océan a gelé à cause de l'éloignement du Soleil (rayonnement 1 000 fois moindre que sur Terre). Des réactions chimiques, de type serpentinisation des roches du noyau solide au contact de

l'océan, ont produit le méthane toujours présent. Compte tenu de la concentration observée actuellement et de la durée de vie des molécules de méthane (10 millions d'années) détruites par les radiations solaires dans la haute atmosphère, ce gaz aurait totalement disparu s'il n'était pas constamment renouvelé à raison de 25 millions de tonnes par an. On pense donc que les réserves initiales de méthane stockées sous forme de clathrates sont relâchées continûment à travers l'interface glacée entre le noyau et l'océan, par un processus semblable à ce qui est observé dans les sources hydrothermales des fosses océaniques terrestres.

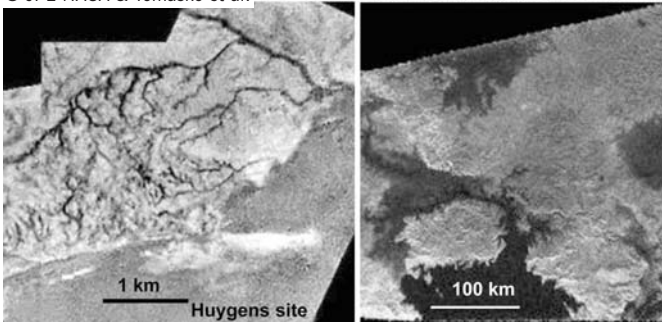
Lors de l'atterrissage de Huygens, les images époustouflantes transmises par la camera DISR du Lunar and Planetary Laboratory (Université d'Arizona), ont confirmé que la surface de Titan était solide et tous les instruments de bord ont constaté qu'il s'agissait bien de glace d'eau, polluée par des hydrocarbures, sous forme de sable et d'agglomérats de consistance argileuse. La région d'atterrissage de la sonde Huygens montre la topographie typique d'un relief jeune, entouré d'une plaine alluvionnaire où converge un réseau de rivières ou torrents, et l'environnement proche est rempli de nombreux galets, témoins d'une érosion hydraulique. En effet, sur Titan, le méthane joue le même rôle que



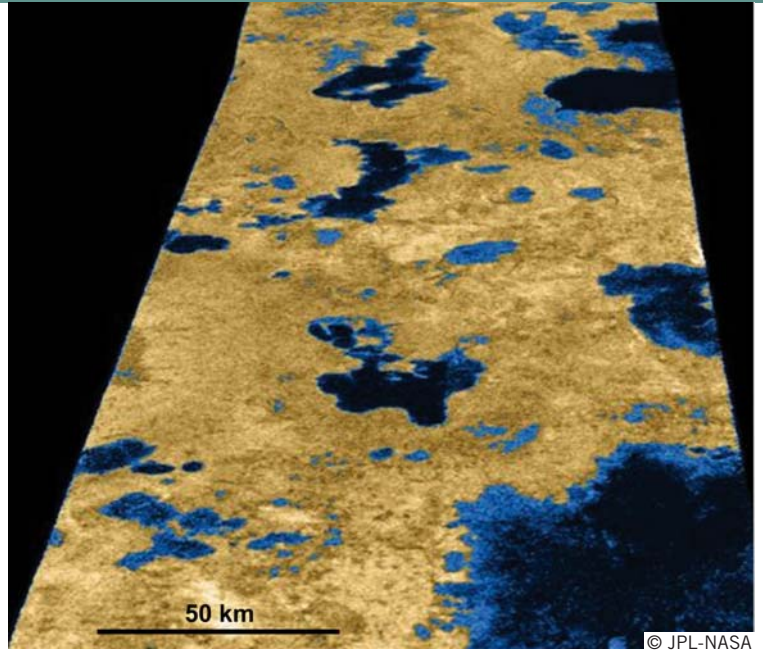
*Vue stéréoscopique du site d'atterrissage de Huygens (point rouge), et environnement local en encadré.*



© JPL-NASA & Tomasko et al.



Huygens site



© JPL-NASA

Reliefs, réseaux fluviaux, lacs et plaines alluvionnaires

Lacs de méthane vers 80° de latitude Nord, images Radar en fausses couleurs

l'eau sur Terre, avec son cycle d'évaporation, condensation et précipitation. La même analogie s'applique vis-à-vis du magma terrestre avec l'eau de Titan qui surgit en surface par cryovolcanisme à travers des failles de la croûte superficielle de glace. Grâce aux mesures précises des paramètres orbitaux et géodésiques, on peut estimer la réserve totale d'eau au sein de Titan de l'ordre de  $10^{19}$  tonnes, liquide et glaces, soit environ 15 fois plus que toutes les réserves terrestres !

**Lacs, rivières et torrents de méthane, cratères et dunes**

La caméra de Huygens a montré une image ponctuelle, et ce n'est qu'à partir

des images spectroscopiques obtenues en infrarouge permettant de percer la couverture nuageuse depuis l'orbiteur, et grâce au Radar à synthèse d'ouverture du Jet Propulsion Laboratory & California Institut of Technology, qu'on a obtenu une vision globale de la complexité de ce monde fascinant. Avec une résolution maximale de 350 m par pixel, le Radar nous montre des montagnes de plusieurs centaines de mètres de hauteur, des lacs remplis de méthane, alimentés par des rivières et affluents descendant des hauteurs. La plupart des lacs sont concentrés dans les régions polaires et la prolongation de la mission jusqu'en 2017 devrait permettre de savoir si c'est lié à un effet saisonnier. En effet, la « journée » sur Titan (cycle solaire diurne) dure 16 de nos jours terrestres, et une « année » dure 30 ans, soit environ 8 années terrestres par saison.

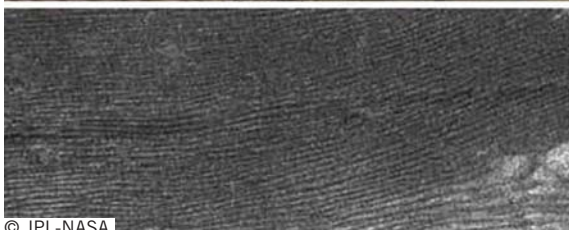
Dans les plaines de basse et moyenne latitude, on observe de vastes étendues couvertes de dunes que l'on suppose constituées de grains d'hydrocarbures complexes, appelés « tholins », accumulés par un vent dominant probablement saisonnier, de direction zonale. Lors de la descente de Huygens, le profil de vitesse de ce vent, depuis 150 km d'altitude jusqu'au sol, montre des pointes de 100 m/s au-dessus de 120 km et un fort cisaillement horizontal à

60 km, probablement lié à une couche d'aérosols. On observe également quelques cratères d'impacts de météorites, pour la plupart de faible dimension (quelques km). Ceci témoigne d'une surface relativement jeune, compatible avec un cryovolcanisme qui estompe les petites structures. Le plus gros cratère d'impact découvert est Menrva (450 km de diamètre), datant d'environ 200 millions d'années par référence à ceux observés sur Callisto, l'un des trois satellites glacés de Jupiter.

**La question de l'eau et la biochimie**

Lors de la descente de Huygens les proportions de quelques éléments organiques ont pu être mesurées *in situ*, mais toutes les molécules exotiques identifiées ce jour l'ont été à partir de l'orbiteur. Outre le méthane majoritaire, seuls l'éthane, le cyanogène, le benzène et le CO<sub>2</sub> étaient mesurables par le spectromètre de masse de Huygens, toutes les autres molécules ne sont présentes que sous forme de traces. Il ne s'agit donc pas d'une « soupe » riche en éléments prébiotiques, encore moins de bactéries primitives dont aucun scientifique n'osait avancer l'hypothèse de survie dans une atmosphère aussi hostile. Cependant, avec le scénario d'un océan primordial « habitable » confiné sous la surface, plusieurs travaux tant théoriques qu'expérimentaux per-

En haut, dunes terrestres en bas, images Radar des dunes de Titan



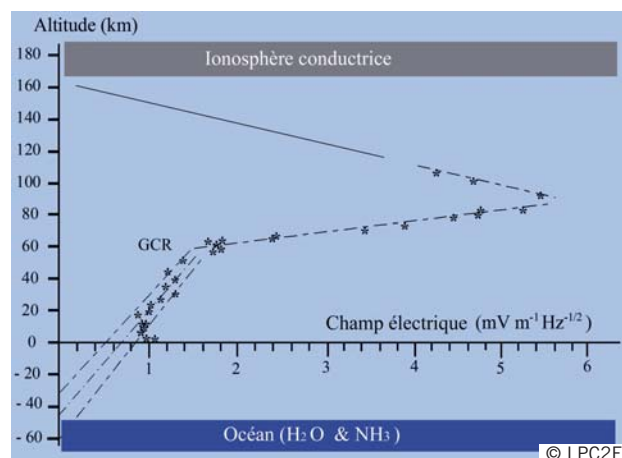
© JPL-NASA



mirent, avant la mission, de crédibiliser l'hypothèse d'une activité biochimique dans le premier milliard d'années après l'accrétion, et pourquoi pas le début d'un développement de cellules vivantes. D'autant plus que la présence du méthane atmosphérique pouvait suggérer une source biologique, comme c'est le cas sur Terre. À défaut de détecter une soupe de molécules prébiotiques en surface ou dans l'atmosphère, c'est sur l'hypothèse d'une activité biologique primitive dans l'océan de Titan que Huygens a clarifié la situation grâce à la mesure du rapport isotopique du carbone  $C^{12}/C^{13}$ . On sait en effet que pour tous les organismes vivant sur Terre, ce rapport est supérieur à 92 %. Or, le spectromètre de masse de Huygens donne un rapport de 82,3 % pour le méthane. Puisque le renouvellement de ce gaz ne peut se faire que via l'océan souterrain, il est extrêmement improbable que le méthane soit d'origine biologique, comme cela pourrait être le cas s'il provenait de décomposition de matières organiques. Reste que la question de l'existence d'un océan et de sa profondeur est essentielle pour la compréhension de l'évolution de Titan depuis son accrétion. C'est sur ce point précis que l'expérience PWA a apporté une contribution majeure.

### Un océan sous 45 km de glace

Avant la mission on pensait découvrir de puissants orages sur Titan. L'expérience PWA était donc conçue pour détecter un sous-produit bien connu sur Terre: la résonance de Schumann, du nom de son inventeur dans les années 50. La multitude d'éclairs quasi permanents, répartis à la surface du globe, produit un fond continu d'ondes radio de très basse fréquence qui alimente les modes propres de la cavité atmosphérique, entre le sol et l'ionosphère qui sont d'excellents réflecteurs électriques. Or, aucun éclair n'a jamais été détecté sur Titan, et pourtant la sonde Huygens a observé le second harmonique à 36 Hz de cette fameuse résonance. L'interprétation fait appel à une tout autre forme d'énergie électrique comme source du phénomène. Ici les mégajoules des éclairs sont remplacés par l'induction dynamo induite dans l'ionosphère de Titan par le balayage permanent des lignes de force du champ magnétique de Saturne à la vitesse de quelque 100 km/s. Les courants induits, qui transportent du plasma le long d'une queue semi cométaire sur plusieurs milliers de km, dissipent dans l'ionosphère plusieurs dizaines de fois l'énergie nécessaire à l'entretien d'une résonance Schumann atypique, laquelle



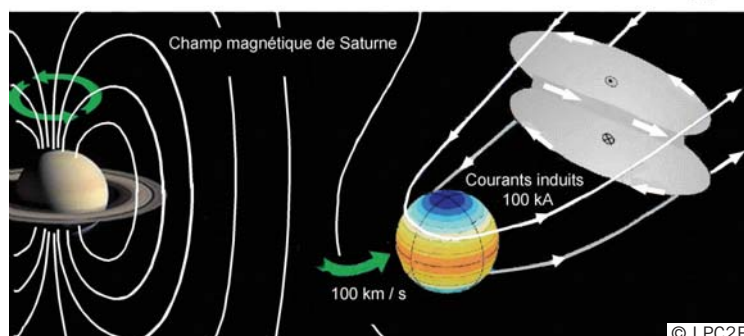
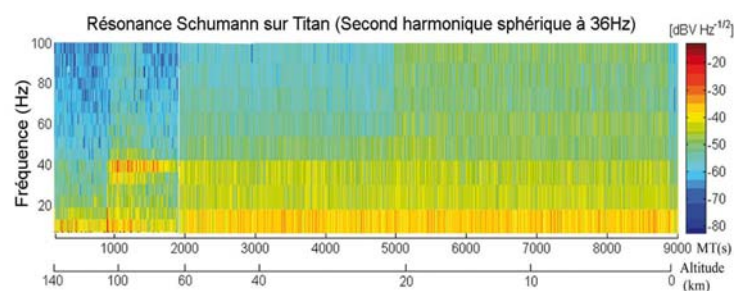
La résonance Schumann de Titan excitée par la magnétosphère de Saturne en co-rotation

est probablement unique dans tout le système solaire.

À cause de la spécificité du mode d'excitation par des boucles de courants horizontaux, au lieu des décharges électriques verticales comme sur Terre, les modes guidés sont de type Transversal Électrique, et le champ électrique est partout horizontal. Or, à la surface de parois conductrices dont la présence est indispensable pour former une cavité, ce champ est nul par définition. Puisque le champ mesuré par PWA n'est pas nul au sol, on en déduit immédiatement qu'il doit l'être plus bas. Compte tenu de la faible conductivité mesurée de la croûte de glace, le calcul montre qu'on peut prolonger linéairement le profil du champ électrique jusqu'à environ 45 km sous la surface, où doit se trouver un excellent conducteur. Or c'est précisément sous 50 à 250 km de glace que tous les modèles situent le reste d'un océan primordial d'eau ammoniacuée. La forte conductivité électrique d'une telle solution convient parfaitement au confinement de la résonance Schumann qui fournit la seule évidence expérimentale reconnue à ce jour de l'existence d'un océan sous la surface de Titan. ■

Contact  
Christian BEGHIN  
cbeghin@cnsr-orleans.fr

Amplitude de champ électrique mesuré par PWA et profil estimé entre les deux frontières



# Les cathédrales, des édifices en « pierre armée »

Les chaînages et autres agrafes de fer mis en œuvre dans les grands édifices médiévaux, en particulier les églises de la période gothique, sont des vestiges archéologiques uniques.

Au-delà de leur importance architecturale, ils sont précieux pour l'étude de l'histoire de la sidérurgie et de la circulation des alliages ferreux au Moyen Âge, mais également pour la conservation-restauration de ces matériaux avec la compréhension de leurs mécanismes de corrosion.

## Des dizaines de tonnes de fer à étudier

Un premier travail de recensement des armatures mises en œuvre dans les cathédrales de Bourges, Chartres et d'Orléans, a été facilité par de récents chantiers de restauration. L'ouvrage de la tour nord de la cathédrale d'Orléans a mis au jour le complexe dispositif de chaînages qui supporte la partie supérieure du deuxième étage installé il y a plus de deux cents ans. Quant à Notre-Dame

de Chartres, la rénovation du haut chœur a permis de découvrir la présence de tenons et crochets en fer mis en œuvre autour des *oculi*. Ces éléments pourraient être associés à un système inédit de protection provisoire des fenêtres avant la pose des verrières. À Orléans comme à Chartres, grâce au concours des Architectes en Chef des Monuments Historiques et du Conservateur régional des Monuments Historiques, des prélèvements de taille millimétrique à pluricentimétrique ont pu être réalisés sur les armatures de fer pour analyse métallographique. À Bourges, le relevé précis des chaînages et tirants situés dans le triforium de la cathédrale Saint-Étienne est en cours et sera bientôt suivi d'une campagne de prélèvements.

## Lire à l'intérieur du matériau

En laboratoire, les échantillons sont découpés, mis en résine et polis. L'attaque des sections polies avec des réactifs spécifiques (Nital, réactif cuivrique d'Oberhoffer...) révèle leur structure métallographique et ainsi la qualité du matériau mis en œuvre : fer, acier, quantité d'impuretés (inclusions), soudures... Les inclusions, fragments de scories qui sont restées coincées dans la matrice métallique lors de la réduction du minerai de fer, sont de véritables témoins de l'origine chimique et technologique du matériau. L'analyse élémentaire, d'abord en éléments majeurs par spectrométrie dispersive en énergie couplée à un Microscopie Électronique à Balayage, puis en éléments traces par ICP-MS à ablation laser va permettre de déchiffrer ces informations dissimulées dans la composition des inclusions. Grâce aux récents travaux des chercheurs de l'IRAMAT sur les éléments traces, il est désormais possible de réaliser des études de provenance sur les alliages ferreux. Cette approche nouvelle nécessite toutefois de caractériser chimiquement chaque région de production ayant potentiellement alimenté un chantier de construction. Pour la cathédrale de Bourges par exemple, il conviendra de comparer la signature chimique des chaînages du triforium avec celle des ferriers découverts dans les forêts d'Allogny et de Saint-Palais, appartenant à l'archevêché de Bourges. Dans un second temps, les productions de l'abbaye cistercienne de Noirlac au sud de Bourges et des forges hydrauliques du val d'Aubois à l'est devront également être considérées.



*Chaînages périphériques au deuxième étage des tours de façade de la cathédrale Sainte-Croix d'Orléans. Grâce à ce système, la partie supérieure de l'étage est entièrement autoportée : théoriquement, aucun poids ne repose sur les colonnes. Lors des restaurations, ces chaînages ont été déposés et remplacés. Leur altération sera étudiée dans le cadre du projet FECOMEDA.*



Prélèvement des tenons et crochets autour des oculi des baies hautes du cœur de la cathédrale Notre-Dame de Chartres lors de la campagne de restauration à l'été 2009.

### Plusieurs sources d'approvisionnement en fer pour la cathédrale de Chartres

Quarante-cinq échantillons ont d'ores et déjà été analysés parmi les tenons et crochets en fer découverts dans les baies hautes de la cathédrale de Chartres. Les résultats, encore inédits, montrent qu'il s'agit de fers issus de bas fourneaux selon le procédé de réduction directe, cette filière technique qui, dans le nord du royaume de France disparaît à la fin du Moyen Âge au profit des hauts fourneaux. Tant les tenons que les crochets sont donc sans doute contemporains de la construction au début du XIIIe siècle. En outre, les analyses en éléments traces semblent montrer plusieurs groupes de provenance distincts pour ces fers. Avec l'achèvement du corpus, il sera possible de déterminer si ces changements d'approvisionnement sont la marque de ruptures de chantier ou si le maître maçon achetait indifféremment du fer de différentes origines au cours d'une même phase de construction. Enfin, la caractérisation chimique des potentielles régions de production, proches (forêts du Perche, sud du bassin parisien) ou plus lointaines (gâtinais, forêt d'Othe...), renseignera sur l'origine du fer et la nature de ses courants commerciaux à la fin du Moyen Âge.

Cette association inédite entre archéologues, archéomètres, physiciens et

géologues autour de la question du fer dans l'architecture permettra donc d'aborder non seulement les questions de quantité et qualité des matériaux utilisés, d'évolution des filières techniques et des structures de production sidérurgiques au Moyen Âge et à la période moderne, du commerce et de la circulation de ces métaux, mais également la question de leur altération. L'étude des couches de corrosion par analyses élémentaires (EDS), structurales (Spectroscopie RAMAN) mais aussi par tomographie renseignera sur leurs mécanismes de formation en fonction des caractéristiques du milieu auquel le fer est soumis. Les résultats permettront la construction de modèles de prédiction de l'altération des alliages ferreux, utiles tant aux industriels qu'aux professionnels de la restauration.

Pour le grand public, la valorisation de l'ensemble des résultats prendra la forme de panneaux explicatifs installés dans les édifices. Plusieurs conférences dans des collèges et lycées sont également déjà prévues dans la région tout au long du projet. ■

#### Contact :

Maxime L'HERITIER

maxime.lheritier@cnrs-orleans.fr



Section polie non attaquée de l'extrémité d'un tenon prélevé à la cathédrale de Chartres. En clair, la matrice métallique; en sombre, les inclusions de scorie.



Tirant de fer dans les combles du triforium de la cathédrale Saint-Étienne de Bourges. Cet ensemble de tirants, d'environ 4,5 m de long pour une quarantaine de kilogrammes, relie à chaque travée les culées des arcs-boutants au mur du triforium. Ils sont probablement contemporains de la construction de la cathédrale dans le courant du XIIIe siècle. Toutefois, des marques de réfection au niveau des culées et l'absence de tirants à certaines travées peuvent faire s'interroger sur leur origine. L'analyse métallographique de ces pièces permettra de conforter l'une des deux hypothèses.

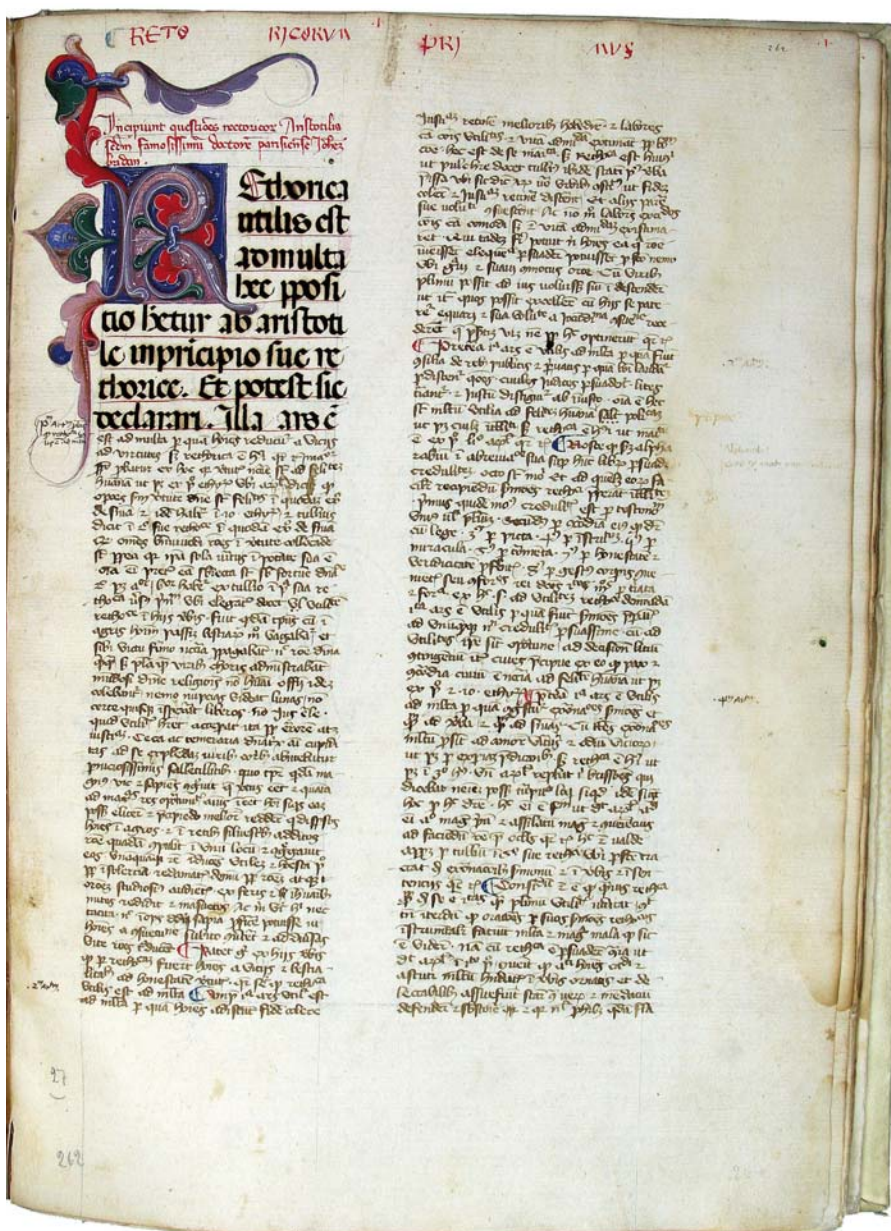
### Un programme de recherche régional

L'Institut de Recherches sur les ArchéoMATériaux (IRAMAT UMR 5060 CNRS/Université d'Orléans, Belfort-Monbéliard, Bordeaux 3) a développé sur ses sites d'Orléans (Centre Ernest Babelon) et Belfort-Monbéliard (Laboratoire Métallurgies et Cultures), une approche méthodologique interdisciplinaire alliant études archéologiques, historiques et analyses chimiques pour appréhender les différents aspects de l'utilisation des alliages ferreux dans l'architecture. Après plusieurs années de recherche sur des édifices normands, picards et champenois, ce sont trois monuments prestigieux de la Région Centre, les cathédrales de Bourges, Chartres et d'Orléans, qui font à présent l'objet d'une étude sans précédent. Acronyme de « Fer dans la Construction Médiévale : Élaboration, Distribution, Altération », le projet FECOMEDA, financé par la Région Centre pour une durée de trois ans voit la collaboration autour de ces trois problématiques de chercheurs de l'IRAMAT, de l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO UMR 6113 CNRS/Université d'Orléans et de Tours) et de deux laboratoires du Commissariat à l'Énergie Atomique, le LECBA et le LAPA/SIS2M (UMR3299).

# La philosophie dans les universités médiévales : nouvelles perspectives de recherche

La formation des Universités, entre les XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles, constitue sans doute l'un des événements les plus remarquables de l'histoire de la civilisation occidentale. Les universités de Paris, Bologne, Naples ou Oxford – pour ne citer que les plus importantes et les plus anciennes – ont été des centres d'enseignement qui ont permis non seulement la conservation et la transmission du savoir, mais aussi l'élaboration d'une conscience intellectuelle européenne.

Incipit du commentaire de Jean de Jandun sur la Rhétorique d'Aristote dans le manuscrit de Padoue, Biblioteca Universitaria, 1472, fol. 262recto, où le texte est faussement attribué à Jean Buridan. (Par concession du Ministère italien de la Culture - reproduction interdite).



L'université médiévale est, avant tout, une institution complexe, dont le fonctionnement a considérablement varié d'une époque à l'autre et d'une ville à l'autre.

Il faut donc commencer par connaître, dans la mesure du possible, les institutions universitaires: leur structure, leur bureaucratie, le déroulement des cours et des cérémonies. Dans ce domaine, les connaissances sont encore incertaines, parce que les documents concernant les universités sont souvent parvenus de manière fragmentaire. Tous les textes importants pour connaître la vie de ces institutions n'ont pas encore été identifiés. Des découvertes sont encore possibles: c'est ainsi qu'en étudiant un manuscrit actuellement conservé à Florence, mais qui ne contient que des textes d'origine parisienne, a été retrouvé un sermon prononcé par un maître anonyme à l'occasion de l'*inceptio* d'un bachelier nommé Thomas (l'*inceptio* était la cérémonie par laquelle un bachelier acquerrait le statut de maître). Ce texte, bientôt publié dans les *Archives d'Histoire littéraire et doctrinale du Moyen Âge*, permet de préciser les connaissances actuelles, notamment sur l'organisation des examens.

### Ordinatio ou reportatio?

Pour l'historien de la philosophie médiévale, l'intérêt majeur consiste dans l'étude des textes issus des facultés des Arts (c'est-à-dire de philosophie). Une

partie non négligeable des cours de philosophie tenus par les maîtres de philosophie dans les Facultés des Arts a été conservée. La plupart du temps ils l'ont été sous forme de commentaire des livres qui constituaient les programmes scolaires, c'est-à-dire (au moins à partir de la seconde moitié du XIII<sup>e</sup> siècle) les livres qui composaient le corpus aristotélicien. Ces commentaires peuvent se présenter sous deux formes différentes. Soit le maître a eu l'occasion de revoir les contenus et la forme de son cours, en lui donnant la forme d'une rédaction définitive : c'est ce qu'on appelle en latin une *ordinatio*. Soit ce sont ses étudiants ou ses bacheliers, qui ont regroupé les notes prises durant les leçons : c'est ce qu'on appelle une *reportatio*. Cette distinction est capitale pour l'évaluation du texte. En effet, une *ordinatio* présente l'intérêt d'un texte édité et, pour ainsi dire, « autorisé » par son auteur. En revanche, la *reportatio*, qui est un texte souvent plus instable et accidenté, donne l'opportunité d'observer le déroulement du cours presque en direct : les *reportationes* sont des textes qui n'ont pas toujours été polis ou mis en forme, et qui présentent par conséquent le caractère d'un discours oral, d'un dialogue entre le maître et les élèves. Au-delà des idées et des doctrines que ces textes livrent, ils peuvent fournir des renseignements extrêmement importants sur le milieu dont ils sont originaires : par exemple, sur la langue utilisée par les maîtres, ou sur la structure de la leçon.

### Rendre les textes accessibles

Malgré l'attention que les études de philosophie médiévale ont reçue au cours du siècle passé, la plupart de ces textes d'origine universitaire restent aujourd'hui inédits ; ils gisent dans les fonds manuscrits des bibliothèques et par conséquent ils ne sont pas faciles d'accès. Le travail mené au sein du Centre d'études supérieures de civilisation médiévale (CESCM, Université de Poitiers-CNRS) consiste à éditer de manière critique ces textes et à en étudier les contenus, afin de les rendre accessibles à la communauté scientifique.

A d'abord été sélectionné un groupe d'auteurs, maîtres à l'Université de Paris : Jacques de Douai, Raoul Lebreton et Gilles d'Orléans. Ces noms ne sont aujourd'hui connus que de quelques spécialistes ; pourtant, il s'agit de trois figures de premier plan dans l'histoire de la pensée scolastique médiévale. De Jacques de Douai, actif dans les années 1270, sont parvenus jusqu'à nous, entre autres, une série de commentaires sur la philosophie naturelle d'Aristote (en particulier les *Météores* et les *Parva naturalia*) : leur étude permettrait de mieux connaître certains aspects de la physique et de la biologie médiévales, mais aussi d'éclairer les rapports entre les facultés des arts et de médecine à Paris à cette époque. Raoul Lebreton, actif entre 1290 et 1310, a jusqu'ici été étudié surtout pour ses écrits de logique et philosophie du langage, mais il a aussi laissé des commentaires sur la quasi-intégralité du corpus aristotélicien, y compris un remarquable commentaire sur la *Métaphysique*, aujourd'hui inédit et, par conséquent, presque complètement inconnu ; des travaux de thèse ont contribué à la redécouverte de cet auteur en publiant l'édition critique de son commentaire sur l'Éthique à Nicomaque d'Aristote (*Studia Artistarum* 23 – Brepols, Turnhout 2008). Gilles d'Orléans, contemporain de Raoul Lebreton, est un autre représentant notable de l'aristotélisme médiéval : encore moins connu que les précédents, ce maître est l'auteur d'un certain nombre de commentaires, tous inédits, sur la philosophie naturelle d'Aristote ainsi que sur l'*Éthique*.

### Entre maîtres ès arts et maîtres de théologie : un dialogue continu

Ces auteurs mériteraient la même attention que celle reçue par leurs collègues plus connus, en particulier Boèce de Dacie et Siger de Brabant, dont l'œuvre a été en grande partie éditée et largement étudiée en raison de leur implication avec la célèbre condamnation de 1277, quand l'évêque de Paris condamna 219 thèses philosophiques considérées comme hérétiques (la figure de Siger a



Iacopo COSTA

été immortalisée par Dante, qui place ce commentateur d'Aristote au *Paradis* ; il apparaîtra aussi dans un roman de Balzac, *Les proscrits*) ; on peut aussi penser à Pierre d'Auvergne, un autre maître ès arts, connu pour avoir complété certains commentaires aristotéliciens que Saint Thomas d'Aquin n'avait pas terminés.

Afin d'apprécier de manière satisfaisante l'œuvre de ces auteurs, et d'en saisir la vraie teneur historique, il est nécessaire d'étudier leurs rapports avec les grands théologiens médiévaux, Saint Thomas d'Aquin, Saint Bonaventure, Saint Albert le Grand, et, plus tard, Henri de Gand, Godefroid de Fontaines, Gilles de Rome, Jean Duns Scot et Guillaume d'Ockham : il y eut en effet, entre maîtres ès arts et maîtres de théologie, un dialogue continu, et une partie considérable des doctrines philosophiques des maîtres ès arts serait incompréhensible sans la connaissance des doctrines théologiques de leurs contemporains.

À terme, c'est à une réévaluation générale de la place de la philosophie – et notamment de l'aristotélisme – dans les Facultés des Arts des Universités médiévales que pourront mener les recherches sur les textes universitaires. ■

#### Contact :

Iacopo COSTA

iacopo.costa@gmail.com

Centre d'Étude Supérieure de Civilisation Médiévale – CESCM (Poitiers)



Une institution de microfinance dans les rues de Yaoundé (Cameroun)

Assemblée générale dans une institution de microfinance à Cotonou (Bénin)

## La pauvreté vaincue par le micro-crédit ?

**Si la croissance économique est une condition nécessaire au développement humain, elle n'en est pas une condition suffisante. L'élévation du niveau de vie, mesurée par le revenu *per capita*, s'accompagne de progrès sociaux mais laisse subsister des poches de pauvreté, d'autant que les inégalités peuvent s'accroître en même temps que la richesse nationale.**

Cela est vrai dans les pays du Nord, et la France n'est pas épargnée. Cela est vrai plus encore dans les pays du Sud. La réduction de la pauvreté est devenue une préoccupation majeure de la Communauté internationale. Les Objectifs du Millénaire pour le Développement adoptés par l'ONU en 2000 sont très ambitieux : réduire de moitié la proportion de la population dont le revenu est inférieur à un dollar par jour... d'ici à 2015. L'échéance approche, mais le but est loin d'être atteint. Une stratégie vraiment efficace est toujours recherchée

### La Grameen Bank

Avec le micro-crédit, on pourrait bien l'avoir trouvée ! C'est ce que certains prétendent, à la suite de Muhammad Yunus qui a obtenu le prix Nobel de la paix en novembre 2006. Trente ans plus tôt, dans son village au Bangladesh, il a aidé quelques femmes en leur prêtant l'équivalent de quinze centimes d'euro pour leur permettre de produire quelque

chose sans être obligées d'emprunter à l'usurier chaque matin, et de gagner un peu d'argent dans la journée en gardant tout pour elles. L'originalité de sa démarche a été de prêter non pas à une personne isolée, mais à un individu, membre d'un groupe dont chaque élément était co-responsable du remboursement. Cette innovation qui a permis de rendre possible le prêt à des pauvres s'est étendue à l'ensemble du pays. Une banque a été créée, la Grameen Bank, maintenant implantée dans la plupart des villages. En plus de l'argent qu'ils empruntent, les emprunteurs peuvent bénéficier de conseils pour gérer leurs affaires ou développer leur activité. Le micro-crédit repose sur des relations personnelles, elles-mêmes fondées sur la confiance et la proximité.

### Des montants adaptés

Aujourd'hui du crédit est accordé de la même façon dans un nombre grandissant de pays, au Nord comme au Sud.

Les institutions de microfinance ne sont pas la copie exacte de la Grameen Bank, mais elles prêtent des petites sommes : à partir de 100 euros au Sénégal ou à Madagascar à des personnes sans ressources pour les aider à développer ou à reprendre une activité. Les montants sont plus élevés (2 000 à 3 000 euros) dans les pays du Nord où l'on peut difficilement survivre sans disposer d'un compte bancaire. Ces institutions permettent ainsi de lutter contre l'exclusion financière, en même temps que contre l'exclusion sociale.

### Un bilan contrasté

Le micro-crédit réussit-il à réduire la pauvreté et l'exclusion ? On cite souvent le cas d'un jeune chômeur ou d'une femme africaine qui ont réussi, grâce à un petit crédit, à gagner un peu d'argent et à améliorer peu à peu leurs conditions de vie. Les exemples sont toujours édifiants. En fait, le bilan est à la fois discuté et contrasté. Il est discuté parce



© Renée-Hélène SALIEGE – LEO (CNRS/Université d'Orléans)

Séance de travail pendant les journées scientifiques à Cotonou (Bénin)



© CICM Paris

Une institution de microfinance près du grand marché de Niamey (Niger)

qu'il n'est pas facile d'évaluer l'impact de ces crédits sur les populations qui empruntent. La pauvreté n'est pas liée à un certain revenu, elle dépend davantage des conditions de vie, et le qualitatif n'est pas facile à mesurer. De plus, il faut des enquêtes, et encore des enquêtes, pour comparer des situations aussi bien dans l'espace que dans le temps. Le bilan est contrasté parce que les institutions de microfinance sont très différentes les unes des autres, leur statut, leur taille, leur clientèle ne sont jamais les mêmes. Les unes sont en fait des banques qui ne prêtent que des petites sommes, les autres sont des caisses villageoises auto-gérées. D'autres encore sont nées d'ONG locales ou internationales ou de projets gouvernementaux d'appui à des petites entreprises.

Ce sont surtout leurs objectifs qui ne sont pas toujours les mêmes. Les unes entendent rester fidèles à une vocation sociale : aider les pauvres en leur prêtant à des taux d'intérêt bas grâce à des subventions. Les autres s'efforcent de devenir assez vite rentables en pratiquant les taux qui le permettent. Elles peuvent ainsi continuer leur activité sans avoir besoin de subvention.

Le bilan de la microfinance est donc difficile à faire. Elle n'est pas un remède automatique à la pauvreté et à l'exclusion. Il est bien établi aujourd'hui qu'elle

aide davantage non pas les plus pauvres, mais les moins pauvres des pauvres qui empruntent un peu plus et présentent moins de risques. C'est plus avantageux pour l'institution ! Il faut donc inventer d'autres mécanismes et d'autres politiques pour que ces institutions de micro finance aient leur place dans le système financier national, qui peut ainsi inclure toute une gamme d'institutions capables de répondre aux besoins de toute la population.

Mais si l'on veut intégrer ces institutions dans les systèmes financiers nationaux, il faut réglementer leur activité, il faut s'assurer qu'elles soient « bien gouvernées », il faut mettre en place des techniques de financement et si possible de refinancement. C'est en fait toute la finance qui se trouve interpellée par l'émergence de cette finance des pauvres.

#### Les études en cours

Une agence de l'Association pour le Développement de l'Initiative Économique à La Rochelle, et « Entrepreneurs du Monde » une ONG à Poitiers, soutiennent des caisses de micro-crédit au Bénin, en Haïti, aux Philippines... Plusieurs chercheurs du Laboratoire d'Économie d'Orléans (LEO – UMR CNRS/Université d'Orléans) ont longtemps travaillé sur les pratiques populaires d'épargne et de crédit dans les pays du Sud (les gardes-monnaie, les

tontines...). Ils s'intéressent maintenant au micro-crédit, à la micro finance, à la micro-assurance...

La démarche scientifique qui les anime s'alimente de contacts avec des praticiens et des pratiquants, d'enquêtes de terrain qu'il faut sans cesse renouveler et bien sûr d'échanges entre collègues. C'est ainsi que nous sommes en relation avec des chercheurs d'autres universités, en particulier africaines. Nous organisons de temps en temps des journées scientifiques : en mars 2008 à Orléans, en novembre 2009 à Cotonou(\*). Les universités d'Orléans et de Cotonou ont mis en place il y a trente ans une coopération qui est toujours fructueuse aujourd'hui... et parce que le Bénin est un véritable laboratoire en ce qui concerne la micro finance. Des contacts sont déjà en cours pour une rencontre scientifique en 2011... ■

*\* Cette dernière rencontre a bénéficié d'un soutien de l'Agence Universitaire de la Francophonie, de l'Organisation Internationale de la Francophonie, de la Direction régionale de la Caisse des Dépôts et des Consignations et bien sûr de l'Université d'Abomey-Calavi à Cotonou, ainsi que du Centre d'Études, de Formation et de Recherches en Développement (CEFRED) qui lui est attaché.*

#### Contacts :

**Michel LELART**  
michel.lelart@wanadoo.fr  
**Thierry MONTALIEU**  
thierry.montalieu@univ-orleans.fr  
**Christian RIETSCH**  
christian.rietsch@univ-orleans.fr

# L'exercice physique, un modérateur du vieillissement cérébral et cognitif

**Les effets prophylactiques de l'activité physique sont connus depuis l'antiquité. En revanche, les effets bénéfiques de l'exercice physique sur la plasticité cérébrale et les fonctions cognitives sont moins connus, notamment en France, le pays d'Europe où le taux de sédentaires est le plus élevé.**

Des chercheurs du Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage (CERCA – UMR 6234 CNRS/Université de Poitiers) tentent de comprendre les mécanismes psychologiques et neurophysiologiques qui sous-tendent ces effets positifs de l'exercice chronique au cours du vieillissement.

Un des enjeux majeurs de notre société moderne est d'augmenter notre espérance de vie et notre qualité de vie tout en retardant la survenue de la dépendance. Des études épidémiologiques et longitudinales réalisées chez les personnes âgées montrent que la pratique régulière d'une activité physique est une des habitudes de vies, avec le régime alimentaire et les interactions sociales, qui réduisent le plus les risques de dépression, de démence

et de dépendance. Les effets prophylactiques de l'activité physique sur la santé physique, la prévention de certaines maladies (cancer, diabète de type 2, ostéoporose) et la qualité de vie sont aujourd'hui relativement bien connus et expliqués. Ce qui est moins connu ce sont les effets bénéfiques de l'activité physique sur la santé cérébrale et cognitive, et plus particulièrement chez les personnes âgées. Le développement de nouveaux travaux de recherche dans ce domaine est particulièrement important car il permettra de mieux comprendre les mécanismes responsables de la relation qui existe entre l'exercice physique et la santé cérébrale de nos aînés et ainsi de mettre en place des actions de prévention basées sur des stratégies non-médicamenteuses.

## Activité physique et santé cérébrale

Des études interventionnelles récentes ont montré que des seniors sédentaires ayant participé à un programme d'activités physiques aérobies (marche, course, natation) pendant au moins 3 mois, à raison d'au moins deux séances hebdomadaires de 45 minutes, voyaient leurs performances cognitives s'améliorer entre le début et la fin du programme, par comparaison à un groupe contrôle ayant pratiqué de la gymnastique douce ou n'ayant pas changé ses habitudes de vie. L'effet positif de l'exercice physique chronique sur les fonctions cognitives a été observé chez les personnes âgées ne souffrant d'aucune pathologie du système nerveux central mais également chez des patients souffrant de maladies neuro-

dégénératives liées au vieillissement cérébral telles que la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson. L'activité physique permettrait ainsi de ralentir les effets délétères du vieillissement cérébral pathologique et non-pathologique et de retarder l'apparition des maladies neurodégénératives.

## Sélectivité des effets de l'exercice chronique

Toutes les activités physiques ne semblent cependant pas entraîner ces effets positifs sur la cognition. Les activités physiques d'intensité modérée à élevée combinant exercices aérobies et renforcement musculaire semblent ainsi plus efficaces que les activités physiques de faible intensité basées sur les étirements et la prise de conscience du corps. Par ailleurs, toutes les fonctions cognitives ne semblent pas bénéficier de cet effet prophylactique de l'activité physique. Les fonctions exécutives, fonctions cognitives supérieures impliquées dans le contrôle attentionnel, semblent plus sensibles aux bénéfices de l'activité physique que d'autres fonctions plus basiques telles que la capacité à réagir à des stimuli simples. Les mécanismes neurophysiologiques qui sous-tendent les effets de l'activité physique restent encore méconnus. Les progrès issus de l'expérimentation animale et de l'imagerie cérébrale ont néanmoins permis de montrer que l'exercice physique s'accompagne de la libération de facteurs neurotrophiques stimulant la plasticité cérébrale notamment en augmentant la synaptogenèse, la neurogenèse et l'angiogenèse.



*Un groupe de seniors pratiquant une activité physique aérobie dans le cadre d'une étude interventionnelle sur les effets positifs de l'exercice sur la mémoire épisodique.*





Le groupe contrôle de la même étude réalisait des exercices d'étirement, de coordination inter-segmentaire et de prise de conscience du corps.



L'appareillage de télémétrie cardiaque permettant de contrôler que les participants travaillaient bien à la bonne intensité d'exercice au cours des séances et d'enregistrer la variabilité de la fréquence cardiaque.

À un niveau plus macroscopique, ces phénomènes seraient liés à une amélioration de la vascularisation cérébrale entraînant une augmentation du flux sanguin cérébral régional, principalement dans les zones frontales et pariétales du cortex; régions qui sont particulièrement vulnérables au déficit de flux sanguin avec l'avancée en âge et qui sont le siège des fonctions exécutives. L'activité physique pourrait également augmenter la synthèse de certains neurotransmetteurs tels que la dopamine et la noradrénaline qui eux aussi, jouent un rôle déterminant dans le bon fonctionnement des processus exécutifs.

#### Les travaux de l'équipe de Poitiers

L'équipe Attention et Contrôle du Centre

de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage (CeRCA, UMR 6234) s'intéresse depuis maintenant plus de 5 ans à cette thématique aux répercussions sanitaires, économiques et sociales. Plusieurs études transversales et interventionnelles impliquant quelques centaines de seniors de Poitiers et ses environs ont été réalisées avec le concours des étudiants du Master en Ingénierie de la Rééducation, du Handicap et de la Performance Motrice et de l'école doctorale Cognition, Comportements, Langage(s). Les principaux résultats obtenus suggèrent que la pratique régulière d'une activité physique aérobie améliore les capacités de personnes sédentaires âgées de 60 à 80 ans à stopper une action ou une pensée inappropriée et à mettre à jour leur mémoire

de travail. Une corrélation entre l'augmentation de la variabilité de la fréquence cardiaque, indice des bonnes capacités d'adaptation du système nerveux autonome, et l'amélioration de l'efficacité des fonctions exécutives a également été observée suite au programme d'activités aérobies. Elle suggère un lien fonctionnel entre les réseaux corticaux qui sous-tendent la régulation du rythme cardiaque et ceux qui supportent les fonctions exécutives. Ces résultats tout à fait originaux, doivent maintenant être confirmés et nous cherchons à savoir si cette mesure peut être considérée comme un bon marqueur périphérique de l'efficacité du fonctionnement cardiaque et cérébral. L'équipe de Poitiers a récemment développé des collaborations avec le Centre de Recherche du Cyclotron de l'Université de Liège afin de tester différentes hypothèses neurophysiologiques expliquant les effets observés au niveau comportemental. Une expérimentation multicentrique interventionnelle testant l'augmentation du flux sanguin cérébral et du taux de récepteurs dopaminergiques dans les régions frontales suite à un programme d'activités physiques aérobies de 6 mois à l'aide de l'imagerie cérébrale est ainsi envisagée. ■

*Une participante de l'étude confrontée à une tâche Stroop dans laquelle elle devait dire à voix haute le plus rapidement possible la couleur avec laquelle était écrit le mot qui apparaissait au centre de l'écran. Dans le cas présenté, la participante devait inhiber le mot « Bleu » et dire « Rouge ». Cette tâche permet d'évaluer l'efficacité de la fonction d'inhibition comportementale.*

#### Contact:

**Michel AUDIFFREN**

**Contacts**

[michel.audiffren@univ-poitiers.fr](mailto:michel.audiffren@univ-poitiers.fr)

**Cédric ALBINET**

[cedric.albinet@univ-poitiers.fr](mailto:cedric.albinet@univ-poitiers.fr)



## Quels usages de l'image fixe ou animée par les sciences sociales ?

Aujourd'hui, le travail change, se transforme en profondeur: il s'intellectualise, s'intensifie, se complexifie, se précarise, se dilue dans d'autres espaces temps comme ceux des loisirs, de la vie familiale, de la formation. Surtout, il tend à devenir moins visible, moins lisible, quittant la place publique pour des espaces privés au sein d'institutions de plus en plus soucieuses de leur image et cherchant à la contrôler étroitement.



Les transformations depuis 1950 d'une vieille papeterie ardéchoise (Bernard Ganne, Jean-Paul Pénard, "Appartenances", 1996).

Évolutions complexes, d'autant plus difficiles à saisir qu'elles s'opèrent dans un monde peu transparent. Cependant, il ne faut pas sous-estimer les connaissances et les avancées des sciences sociales en la matière. Sans souci d'exhaustivité, on peut citer quelques acquis: après un débat animé à la fin des années 1990 sur sa perte ou non de centralité, un consensus s'est établi sur le rôle toujours central du travail dans le lien social; déplacement des contraintes du physique vers le psycho-

logique avec montée du stress au travail et intériorisation des contraintes; développement de modalités de régulation conjointe et des activités de service aux personnes; place déterminante des pratiques managériales, même si elles sont difficiles à saisir et en particulier à filmer.

### Le retour du travail au cinéma

Parallèlement, on constate depuis quelques années un retour de l'image du travail dans le cinéma tant docu-

mentaire que de fiction. Et ceci, au moment même où les frontières entre fiction et documentaire se déplacent, se brouillent, se recomposent. Si le cinéma d'après guerre a largement mis en avant l'image du travailleur manuel et des classes populaires, les années 1970-1990 correspondent à une sorte d'effacement du travail dans l'image-cinématographique. Effacement qui faisait écho à un mouvement de pensée relayé par une partie des sciences sociales, prédisant la fin du travail comme

valeur centrale, comme temps dominant, comme espace nodal du lien social.

Ce début du 21<sup>ème</sup> siècle marque le retour du travail tant dans le débat social, l'analyse scientifique que la production audiovisuelle. Retour du travail qui voit émerger de nouvelles figures et thématiques. Le renforcement des préoccupations sur le travail humain est aussi sensible dans les recherches en sciences sociales. Il suffit pour s'en convaincre de constater l'intensité des publications, sur ce thème depuis une décennie. Dans ce cadre, on constate un regain d'intérêts pour les travaux utilisant les images fixes ou animées, même si ceux-ci restent minoritaires. La vitalité de l'usage des images dans les différentes disciplines des sciences sociales est l'occasion de réfléchir sur les enjeux et les modalités concrètes mises en œuvre par les chercheurs.

### Un travail spécifique, celui du chercheur

S'interroger sur l'usage des images en sciences sociales conduit à se focaliser sur un travail spécifique, celui du chercheur en sciences sociales ou plus largement sur les activités de production de connaissances sur le travail s'appuyant sur des images fixes ou animées. Pour ce faire, l'approche proposée par Howard Becker apparaît stimulante. Il avance la notion de « *rappports sur la société* », définis comme « *des manières d'expliquer ce que l'on croit savoir à d'autres qui souhaitent en prendre connaissance* ». Ces rapports sur la société sont donc des produits d'organisations sociales spécifiques, qui ne peuvent être analysés qu'en prenant en compte leurs modalités de production. On peut alors parler de « mondes des fabricants et des utilisateurs de représentations ».

La diversité des points de vue renvoie à des logiques disciplinaires: sociologie, ethnologie, ergonomie, anthropologie, histoire, esthétique, sciences de la communication. Elle reflète surtout la pluralité des espaces de légitimité des

connaissances produites sur le travail, pluralité des « mondes des fabricants et utilisateurs de représentations »: les mondes du cinéma documentaire, de la photographie sociale, des statistiques de l'emploi, de la monographie de terrain, de l'approche sociologique des professions, de l'analyse ergonomique du travail, de l'enquête ethnographique, de la santé au travail...

### Les premiers pas du cinéma sociologique

Travail avec l'image, mais aussi sur l'image, durant les différents stades de production des connaissances: construction du point de vue, méthodologie, recueil de données sur le terrain, analyse des données, problématisation, écriture... Dès le début du vingtième siècle, les analystes du travail se sont emparés de ces technologies en développement qu'étaient la photographie et le cinéma: Taylor et ses disciples pour mettre en œuvre les principes de l'organisation scientifique du travail; la sociologie du travail naissante, pour tenter de rendre compte des différentes dimensions du travail industriel. Cependant un constat s'impose rapidement: l'usage de l'image, fixe comme animée, ne permet pas de rendre compte de la complexité du travail humain et notamment du point de vue subjectif des acteurs sur leur travail et de l'articulation étroite entre les espaces/temps du travail et du hors travail. La question clef est alors celle de la construction du regard documentaire, voie explorée dès les années 1950 par les pères de la sociologie du travail française que sont Georges Friedmann et Pierre Naville... ou encore par Jean Rouch et Edgar Morin qui posent en 1961 avec « *Chronique d'un été* », les bases du film sociologique.

### La diversité des usages de l'image en sciences sociales

La réflexion sur la spécificité du film scientifique et sa capacité à prendre en compte les différentes dimensions du travail contemporain reste d'actua-

lité: ainsi les travaux scientifiques et audiovisuels de Bernard Ganne et Jean-Paul Pénard fournissent un regard documenté, permettant de saisir l'ampleur de la transformation du travail ouvrier et industriel en retraçant trente ans de la vie d'une entreprise, les papeteries Canson. Ils esquissent une triple histoire: celle de l'entreprise contemporaine, celle des thématiques privilégiées par les sciences sociales, celle enfin du rapport des sociologues à l'image. Une autre manière d'aborder le travail est celle, plus ergonomique, de René Baratta et Alain de Halleux, qui se sont confrontés à cette question tant cinématographique, scientifique que sociale: « *Peut-on filmer le travail dans les industries à risque?* ». Aujourd'hui, la majorité des travaux de recherche utilisant l'image aborde le travail des cadres, celui des consultants, celui des chercheurs ou encore celui omniprésent et majoritaire des activités de service à la personne. C'est le cas du film d'Armelle Giglio-Jacquemot « *Nice, bonne au Brésil* », qui analyse ce travail souvent occulté, tout en engageant une réflexion sur le caractère scientifique, ethnographique de son travail documentaire. On est loin de la concentration traditionnelle des sciences sociales sur une figure centrale, celle de l'ouvrier de la grande industrie. ■

Contact: Jean-Paul GEHIN,  
Maison des Sciences de l'Homme et de la Société  
de Poitiers (MSHS – CNRS/Université de Poitiers)  
jean.paul.gehin@univ-poitiers.fr

Rendre compte d'un  
travail mésestimé et  
quasi invisible (Armelle  
Giglio-Jacquemot, "Nice :  
bonne au Brésil", 2009).



*À la Croisée des chemins / The Parting of the Ways revisited*

# Quand l'Église & la Synagogue se sont-elles distinguées ?



UNIVERSITÉ FRANÇOIS-RABELAIS DE TOURS, SITE TANNEURS

VENDREDI 18 JUIN BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE 5<sup>E</sup> ÉTAGE

SAMEDI 19 JUIN SALLE TANNEURS EXTENSION AMPHI 1