

NUMÉRO
59

FÉVRIER
2010

cnrs
dépasser les frontières

MICROSCOOP

LE JOURNAL DU

CNRS

EN DÉLÉGATION CENTRE POITOU-CHARENTES



> HISTOIRE

THOMAS HARRIOT, un
astronome précurseur



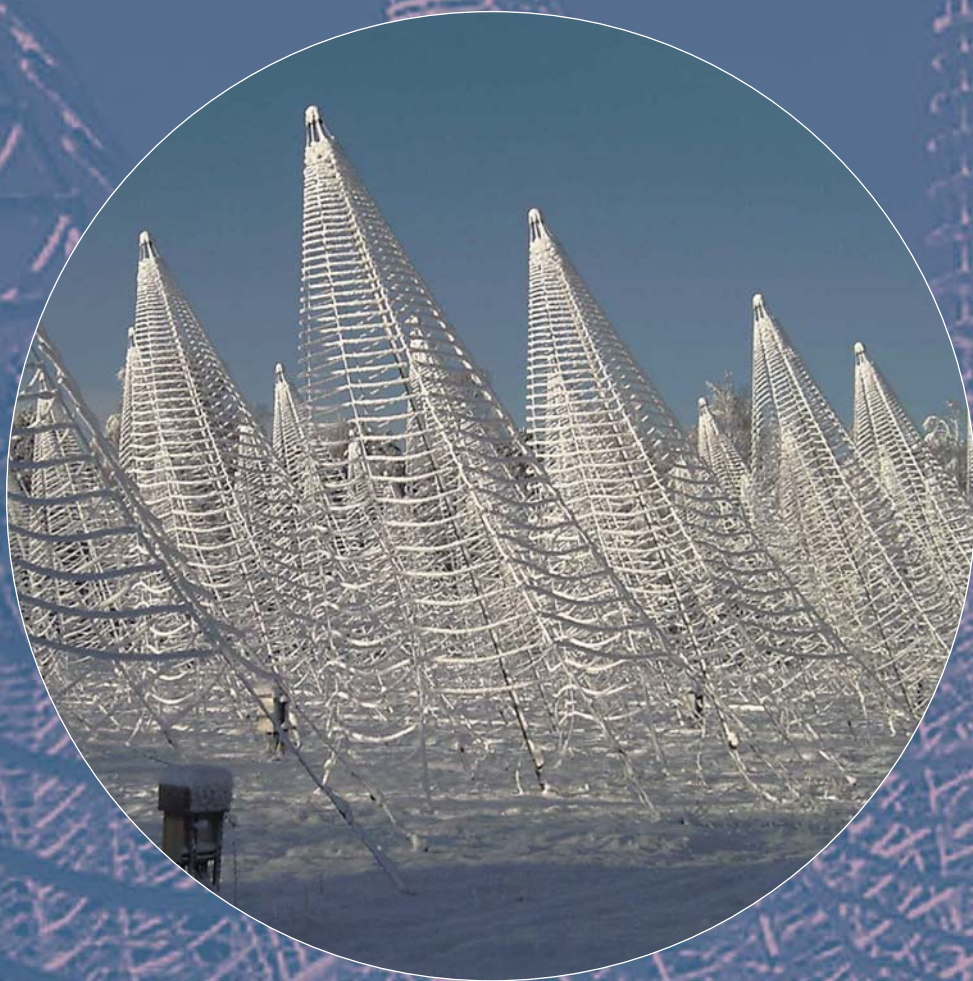
> ENVIRONNEMENT

StraPolÉté, l'étude de la
stratosphère polaire en été



> HISTOIRE

Une résidence comtale
autour de l'an mil



> LABO EN DIRECT

Des pulsars aux gerbes
cosmiques

Microscop

Numéro 59
février 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

Grégory ABADIAS, Audrey
ABOT, Claire BONNAFOUS,
Luc BOURGEOIS, Martine
CADENE, Betty CHARLES,
Christian COGNARD, Armelle
COMBAUD, Fabienne
DEDALDECHAMP, Bertrand
FLOURET, Patrick GAUDRAY,
Jean-Paul GEHIN, Nathalie
HURET, Jérôme LE
ROUSSEAU, Benoît MAUNIT,
Elisabeth NAU.

Création graphique

www.enola-creation.fr

Imprimeur

Imprimerie Nouvelle

ISSN 1247-844X



Photo de couverture

Les antennes du réseau
décamétrique pour l'observation
du Soleil et de Jupiter.



Depuis le dernier numéro de Microscop, notre établissement a abordé avec la décennie qui s'ouvre, une nouvelle étape de son histoire. Des événements importants relatifs à son organisation se sont en effet succédés. Ce fut en premier lieu, la publi-

cation au Journal Officiel du 1^{er} novembre 2009 du nouveau décret organique du CNRS. Ce texte rend opérationnel le contrat d'objectifs 2009-2013 de l'organisme signé avec l'État le 19 octobre dernier et entérine la réorganisation de l'établissement en dix instituts. Autre changement d'importance, le Président du Centre assurera désormais la direction générale de l'établissement.

À la suite de la parution de ce décret, les dix instituts ont été créés avec la mise en place de deux nouveaux venus : l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS) et l'Institut des sciences informatiques et de leurs interactions (INS2I). Enfin, le mandat de la précédente gouvernance s'étant terminé au début de cette année, nous avons aujourd'hui un nouveau Président, Monsieur Alain FUCHS.

Nous aurons certainement l'occasion de revenir dans les prochains numéros sur cette nouvelle organisation. En attendant, ce premier numéro de Microscop pour l'année 2010 vous invite à découvrir de nouveaux pans de la recherche menée dans les laboratoires de la circonscription Centre et Poitou-Charentes.

Après un focus sur la Station de Radioastronomie de Nançay mondialement connue pour ses instruments d'observation radio de l'Univers et l'exploration de l'environnement terrestre et du Système solaire, nous passerons à la thématique des matériaux avec des laboratoires poitevins qui évoqueront successivement leurs recherches sur l'obtention de matériaux à fibres végétales et l'étude des matériaux en film mince.

édito

Ensuite place à la biologie avec l'Institut de Physiologie et de Biologie Cellulaires de Poitiers pour ses travaux sur la Dystrophie Musculaire de Duchenne et la Fédération de Recherche « Physique et Chimie du Vivant » (la FR 2708 regroupe le Centre de Biophysique Moléculaire et l'Institut de Chimie Organique et Analytique d'Orléans) pour les applications de la spectrométrie de masse à l'étude de mécanismes biologiques au niveau moléculaire.

Les questions environnementales sont abordées par un article du Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace, lequel coordonne le projet « StraPolEté » de mesure et d'analyse, par ballons stratosphériques, de la haute atmosphère terrestre en Arctique.

Avant l'histoire qui, par le Centre d'Études Supérieures de la Renaissance nous fait (re)découvrir un astronome anglais contemporain de Galilée : Thomas Harriot, et par le Centre d'Études Supérieures de Civilisation Médiévale nous transporte dans une résidence comtale de l'an Mil, le lecteur pourra s'informer des interactions très fortes entre les mathématiques et les géosciences grâce à un article du laboratoire de Mathématiques, Applications et Physique Mathématique d'Orléans.

Comme vous pouvez le constater, ce numéro de Microscop illustre à nouveau la pluridisciplinarité et la qualité des recherches menées en Centre Poitou-Charentes. Il se termine par un retour sur la 18^{ème} édition de la Fête de la Science dans la circonscription. Le succès que rencontre cet instant privilégié d'échanges avec le public est un encouragement pour chacun d'entre nous.

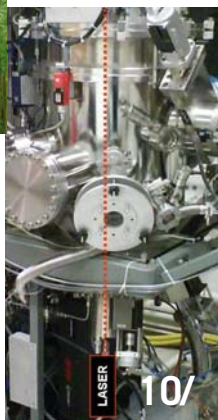
À toutes et à tous, je vous souhaite une très bonne lecture.

Patrice SOULLIE Délégué régional

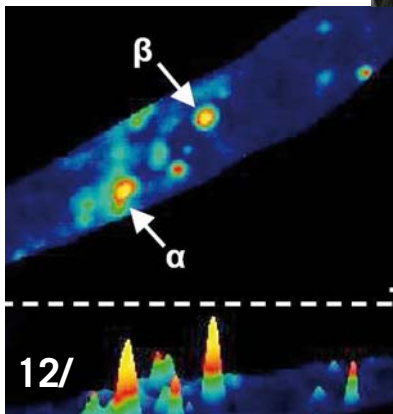
Institut de chimie (INC); Institut écologie et environnement (INEE); Institut de physique (INP); Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3); Institut des sciences biologiques (INSB); Institut des sciences humaines et sociales (INSHS); Institut des sciences informatiques et de leurs interactions (INS2I); Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS); Institut des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI); Institut national des sciences de l'Univers (INSU).



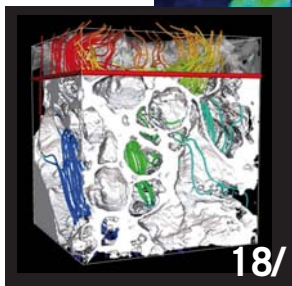
8/



10/



12/



18/



24/

Microscoop
Numéro 59 – février 2010

SOMMAIRE /3

Labo en direct

Des pulsars aux gerbes cosmiques



4/

Matériaux

- Le chanvre dans tous ses états : de la plante au composite
- Quand la matière contrainte livre ses secrets en temps réel



8/

10/

Biologie

- Myopathie, comment une maladie conduit à des découvertes fondamentales
- Le vivant à l'échelle moléculaire



12/

14/

Environnement

StraPolÉté, l'étude de la stratosphère polaire en été



16/

Mathématiques

Les interactions mathématiques-géosciences



18/

Histoire

- THOMAS HARRIOT, un astronome précurseur
- Une résidence comtale autour de l'an mil



20/

22/

Manifestation

- Les sciences sont à la fête
- Poitiers fait place aux sciences



24/

27/

Des pulsars aux gerbes cosmiques,

l'Univers se révèle par ses ondes radios

La Station de Radioastronomie de Nançay développe des techniques radios basses fréquences en astronomie et astrophysique. Des instruments sont proposés aux chercheurs nationaux et internationaux, pour l'observation radio de l'Univers et l'exploration de l'environnement terrestre et du Système Solaire. La Station participe aussi à la mise au point des futurs radiotélescopes.

La Station de Radioastronomie de Nançay est une unité de recherche associée à l'Institut National des Sciences de l'Univers du CNRS et de l'Observatoire de Paris. Depuis peu, elle est aussi rattachée à l'Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre. La Station est une Unité de Service et de Recherche (USR). D'une part, des instruments d'observation sont à la disposition des chercheurs français et

étrangers. D'autre part, les équipes techniques présentes sur le site participent à des activités de R&D pour la mise au point des radiotélescopes de nouvelle génération, en particulier dans le domaine de la microélectronique et de l'élimination des interférences radio. Les ingénieurs développent de nouveaux systèmes d'acquisition des données et de traitement du signal issu des instruments.

la radioastronomie en France. Il leur fournit trois imposants radars allemands (avec des miroirs de 7,5 m de diamètre) provenant de Würzburg. Les études sur le Soleil et le rayonnement galactique commencent.

En 1952, lors d'un symposium international en Australie, les Français découvrent les grandes antennes australiennes. Pour abriter un réseau d'antennes dédiées aux observations solaires sur ondes métriques et un interféromètre à base variable pour des études galactiques, ils devaient donc construire une grande station de radioastronomie. Le gouvernement investit 25 millions de francs pour la créer. Le terrain devait être assez grand pour abriter les réseaux d'antennes, assez plat pour limiter le volume de terrassement, éloigné des zones industrielles et de leurs pollutions électromagnétiques, mais à la fois assez proche de Paris pour faciliter les communications. La perle rare, un terrain de 150 hectares, répondant à ces critères, fut acheté à Nançay (département du Cher) en 1953.

Un peu d'histoire...

L'étude des ondes radio émises par des corps célestes est assez récente. Un des intérêts des observations en ondes radios est qu'elles peuvent être réalisées de nuit comme de jour, et même sous des conditions météorologiques défavorables. Les nuages n'ocultent pas ces ondes. La radioastronomie est issue d'une découverte en 1931 aux États-Unis. Karl Jansky, un ingénieur d'une entreprise téléphonique, découvre par hasard des ondes radio provenant du ciel. En 1932, il montre que la voie lactée est à leur origine. Il faudra attendre l'après guerre pour que la radioastronomie se développe en France. Yves Rocard, qui dirigeait le Service de Recherche des Forces Navales Françaises Libres pendant la guerre, avait eu connaissance de la détection par les radars anglais d'émissions radio provenant du Soleil. En 1946, il propose à deux chercheurs, Jean-François Denisse et Jean-Louis Steinberg, de développer

Peu de chercheurs sur site

Très peu de chercheurs astronomes ou astrophysiciens sont présents sur le site. Ils sont une trentaine, de l'Observatoire de Paris et du CNRS à être associée à la Station. Ils viennent régulièrement en tant que responsables scientifiques d'instruments, de projets en cours de développement ou pour des observa-

Réseau nord-sud du radiohéliographe





Le miroir fixe du radiotélescope décimétrique renvoie en concentrant les ondes sur le chariot focal. Sa forme sphérique est de 560m de rayon.

Miroir mobile de 8000m² du radiotélescope décimétrique. Il s'oriente sur un axe horizontal pour renvoyer les ondes des astres vers le miroir fixe.

tions. D'autres scientifiques français et étrangers sont aussi régulièrement accueillis ainsi que de nombreux stagiaires (masters, thèses, écoles d'ingénieurs et BTS).

La Station de radioastronomie est dirigée par un chercheur et regroupe environ 45 ITA (Ingénieurs, Techniciens et Administratifs) du CNRS et du Ministère de l'Éducation Nationale. Plusieurs spécialités professionnelles sont représentées : informaticiens, électroniciens, micro-électroniciens, mécaniciens, électromécaniciens. D'autres personnels ont un rôle clé sur la Station, les observateurs. Ils mettent en route les instruments, les programmes, les font fonctionner, vérifient la bonne acquisition des données et la gestion des programmes d'observation.

Une équipe administrative est également présente sur le site pour assurer la gestion de la Station (un administrateur et des gestionnaires pour le personnel, du personnel de restauration, un jardinier, un électricien et un ingénieur infrastructure).

Des ondes radio réservées

Un ingénieur a en charge la protection des fréquences radios. Il existe des fréquences radios réservées pour la défense, les communications satellites, la téléphonie, les stations radiopho-

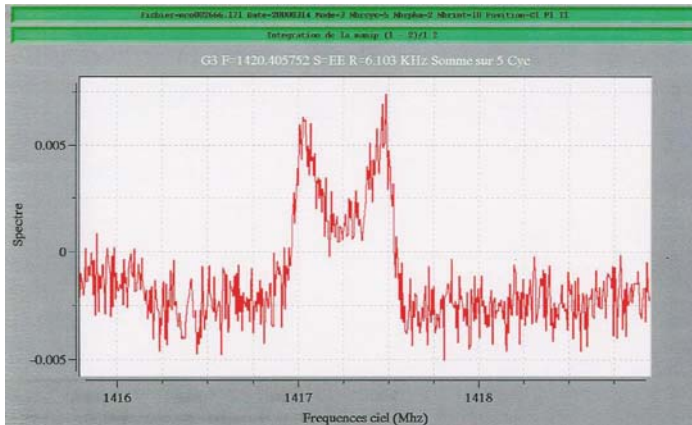
niques, les télévisions, etc. Certaines fréquences sont aussi réservées à la radioastronomie. Mais les émissions radios liées aux activités humaines sont émises avec des intensités supérieures à celles des astres. Elles vont « déborder » et polluer les mesures radioastronomiques. Le Soleil émet des ondes 10^{12} fois moins intenses que celles émises par un simple téléphone portable. C'est donc un souci constant de vérifier l'absence de ces pollutions. Des retransmissions d'événements grand public, comme des rencontres sportives, peuvent entraîner des besoins de communication plus importants, utiliser des fréquences non autorisées et polluer les mesures de la Station. De même, toutes les demandes d'installation de nouveaux émetteurs doivent être surveillées. Plusieurs radioastronomes associées à la Station sont ainsi membres de commissions, nationales et internationales, pour veiller à la sauvegarde des gammes de fréquences dédiées à la radioastronomie.

Une antenne emblématique

Le site de Nançay est bien connu des pilotes d'avion. Il existe peu de points de repère en forêt solognote et les pilotes se repèreraient parfois avec les antennes de la Station. De manière anecdotique, les antennes serviraient apparemment de cibles factices aux

pilotes de chasse. Parmi celles-ci, une est emblématique : le radiotélescope décimétrique. Il est composé de trois structures dont deux monumentales. La première structure est une surface plane de 200 mètres de long sur 40 mètres de large, pesant 400 tonnes. Ce miroir métallique, mobile autour de son axe horizontal, projette les ondes radios reçues d'une région du ciel vers un miroir concave vertical de 300 mètres de long sur 35 mètres de hauteur. Les ondes y sont concentrées et renvoyées sur des antennes de réceptions placées sur un chariot mobile. Ce radiotélescope décimétrique (NRT) généraliste travaille dans des gammes de fréquences (1,1 à 3,5 GHz) permettant notamment de détecter l'hydrogène et le radical hydroxyle (OH). Ses domaines d'étude sont vastes : par exemple le chronométrage d'une centaine de pulsars millisecondes. Ces étoiles tournent sur elles-mêmes avec une très grande stabilité ; toutefois les astrophysiciens recherchent une déviation de leur rotation pour tester la relativité générale. Ces observations sont longues : les ondes gravitationnelles étant d'une intensité très faible, le même objet doit être observé régulièrement pendant 5 à 10 ans. En collaboration avec le LPC2E, les instruments d'analyse sont améliorés constamment. Dans le cadre de collaborations internationales, Nançay et la NASA (satel-

Observation de l'hydrogène d'une galaxie, par le radiotélescope décimétrique de Nançay



lite FERMI: télescope spatial qui observe dans les rayons gamma) font des observations conjointes. Des observations radios de Nançay permettent de calibrer le satellite pour observer des pulsars dans le rayonnement gamma. Les observations conjointes dans les deux rayonnements permettent de mieux comprendre certains phénomènes astronomiques. Les chercheurs se sont ainsi rendu compte que les émissions gamma ne provenaient pas du même endroit que les émissions radios. Les émissions radios viennent des pôles de l'étoile alors que les émissions gamma sont émises depuis la zone équatoriale.

De même, le radiotélescope décimétrique analyse l'activité gazeuse des comètes est analysée (l'eau des noyaux cométaires est libérée et dissociée sous l'action du Soleil), les contenus gazeux des galaxies (pour apporter des informations sur leurs compositions, leurs dynamiques, leurs vitesses de déplacement, leurs distances par rapport à notre étoile, leurs masses, etc.), la recherche d'enveloppes circumstellaires autour d'étoiles rouges.

Pour utiliser un instrument de la Station, les chercheurs font des demandes de temps d'observation. Tous les 6 mois, un appel d'offres est lancé. Les demandes sont examinées et classées par un comité de programme international. Une quinzaine d'équipes travaillent, à ce jour, avec des instruments de Nançay. Par exemple, un réseau d'équipes de cinq pays européens travaille sur le chronométrage des pulsars. Huit thèses sont en cours sur les pulsars en utilisant des données de Nançay, mais aussi des données d'autres radiotélescopes européens.

Le Soleil sous surveillance

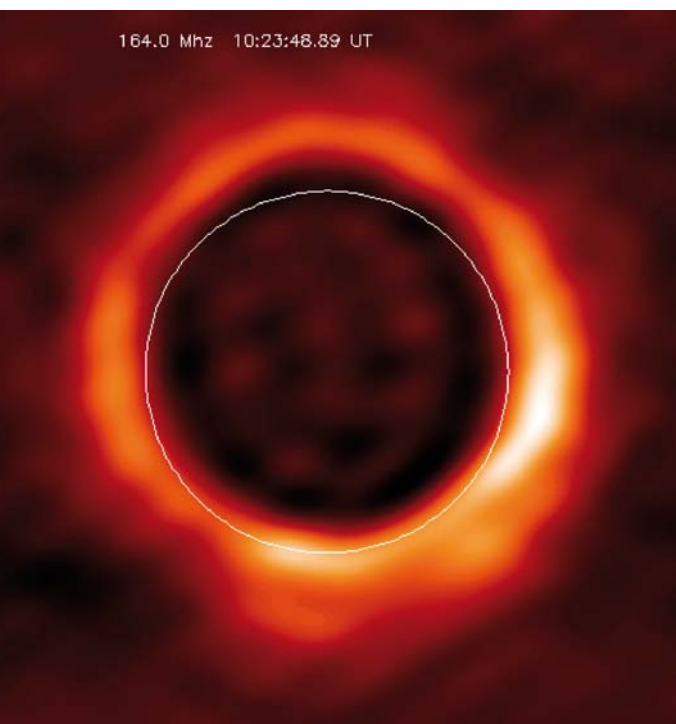
Le radiohéliographe est constitué d'un double réseau d'antennes disposées en T. Dix-neuf antennes sont alignées sur 3 200 mètres avec un axe est-ouest, et 25 autres sur 2 400 mètres avec un axe nord-sud. Cet instrument analyse en continu la couronne solaire (couche la plus externe du Soleil) dans une gamme de fréquences de 150 à 450 MHz, en produisant jusqu'à 200 images par seconde.

Si des chercheurs s'intéressent au Soleil quand son activité est calme, d'autres l'étudient plutôt durant ses éruptions. Les premiers analysent la structure de l'étoile et de son champ magnétique; les seconds travaillent sur les éjections de masses coronales. Lors d'éruptions, des particules plus énergétiques que le vent solaire continu, peuvent arriver sur la Terre. Le champ magnétique terrestre nous protège des particules solaires; mais au cours d'une éruption, des flots de particules arrivent plus vite et créent une onde de choc qui peut compresser la magnétosphère terrestre d'un facteur 2. Celle-ci peut passer d'une distance de 11 à 5 rayons terrestres. Dans ce cas, les satellites géostationnaires sortent de la zone protégée et sont bombardés par les particules solaires très énergétiques. Ce bombardement peut affecter l'électronique embarquée. Les chercheurs, utilisant le radiohéliographe, ne font pas de la « météo spatiale », mais s'intéressent à la physique des émissions de la couronne solaire. Leurs travaux serviront à leurs collègues pour prédire les éruptions.

De Jupiter aux exoplanètes

144 antennes hélicoïdales, chacune haute de 9 mètres pour une surface occupée de 5 m² constituent le réseau décimétrique. La surface réceptrice est de 10 000 m². Ce réseau est destiné à l'étude (fréquences de 10 à 100 MHz) de la dynamique des environnements magnétisés et ionisés de Jupiter et du Soleil. Grâce à l'analyse des émissions radio de Jupiter, les scientifiques ont pu déterminer la vitesse exacte de rotation de la planète, avoir des informations sur son champ magnétique et ses anomalies, sur la densité électronique dans son environnement, etc. Des théories expliquant les ondes mesurées ont été confirmées sur place avec des sondes spatiales. Ces informations serviront pour analyser celles qui seront dans l'avenir mesurées en provenance d'exoplanètes à l'aide d'instruments plus sensibles.

Éclipse de Soleil du 11 août 1999, observée avec le Radiohéliographe de Nançay.





Les antennes du réseau décimétrique pour l'observation du Soleil et de Jupiter.

Des éclairs mystérieux

La Station participe aussi à des études de l'atmosphère terrestre. Il y a une vingtaine d'années, des pilotes d'avion ont observé des éclairs et des structures colorées (rouges, bleues...) au-dessus des nuages. L'antenne TBF (Très Basses Fréquences, 30 Hz à 50 kHz) du LPC2E localisée à Nançay fait partie d'un réseau mondial (États-Unis, Japon, Grèce, Turquie, Irlande, Inde, etc.) pour aider à élucider ces phénomènes jusqu'ici inexplicables, en association bientôt avec le microsatellite du CNES, TARANIS, dédié à ces études.

Les instruments du futur

La Station de Nançay participe à la mise au point de nouveaux instruments. Ceux-ci issus de collaborations internationales sont testés sur le site. Parmi les projets en cours, le programme CODALEMA cherche à détecter les « gerbes cosmiques ». Des particules cosmiques, d'origine inconnue, arrivent dans la haute atmosphère terrestre en créant des gerbes de particules secondaires qui émettent des ondes radios. Le programme consiste à tester la fiabilité de nouvelles antennes avant qu'elles ne soient installées sur de grands territoires, en Argentine, pour augmenter la résolution des observations. L'hémisphère sud est intéressant pour les futurs grands instruments en raison d'une moindre pollution, d'une faible densité de population et l'existence de grands espaces

libres. L'objectif scientifique est de caractériser ces gerbes cosmiques, d'identifier leur origine et d'étudier les mécanismes physiques qu'elles créent à leur arrivée dans l'atmosphère.

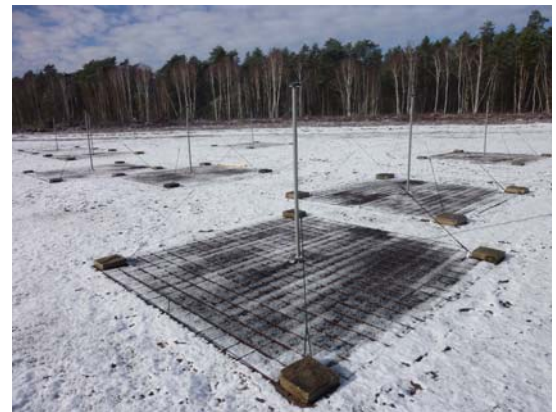
Nançay est l'un des sites européens retenus pour le projet LOFAR (Low Frequency ARray), un interféromètre qui sera le plus grand réseau généraliste d'antennes basses fréquences (30 à 240 MHz). Une liaison en fibres optiques, en cours d'installation, sera reliée au réseau haut débit RENATER (Réseau National de télécommunications pour la Technologie, l'Enseignement et la Recherche), pour rejoindre le réseau européen GEANT. Ce réseau permettra à un supercalculateur situé aux Pays-Bas de traiter des données issues simultanément des antennes situées en divers sites européens. Ce projet permettra l'étude de la ré-ionisation de l'Univers, de galaxies très lointaines, des pulsars, d'étoiles éruptives, des planètes de notre système solaire mais aussi d'exoplanètes. Les calculs théoriques sur les émissions radios d'exoplanètes montrent qu'elles doivent être à basses fréquences et peu intenses. Avec un instrument de 10 et 100 fois plus sensible que ce dont ils disposent, les chercheurs espèrent pouvoir ainsi observer leurs émissions.

Des dispositifs de pointage des instruments non pas mécaniques, comme à l'heure actuelle, mais électroniques sont également mis au point à Nançay. Ce

projet de R&D sur un circuit intégré (Beam-FormerChip) a pour but de pointer et de mesurer plusieurs points dans le ciel pour des études simultanées. La Station participe ainsi à la conception du futur radiotélescope international géant SKA (« Square Kilometer Array ») qui sera construit dans l'hémisphère sud (Australie ou Afrique du Sud). Ce sera le plus grand radiotélescope construit à ce jour (1 km²). Cet instrument, dont LOFAR est un précurseur, sera aussi plus sensible, pour permettre d'observer un million de fois plus d'astres. Deux stations tests sont en cours d'installation : l'une à Nançay, et l'autre aux Pays-Bas (instrument de démonstration EMBRACE, Electronic Multi-Beam Radio-Astronomy ConcEpt). ■

Eric DARROUZET

Les premières antennes du grand radiotélescope LOFAR, qui s'installe à Nançay.



Premiers m² de l'antenne Embrace en test à Nançay.



Le chanvre dans tous ses états : de la plante au composite

Remplacer les fibres synthétiques, de verre ou de carbone, dans les matériaux composites par des fibres d'origine végétale notamment de chanvre (*Cannabis sativa*) est-il envisageable ?



© PHYMOTS

Chanvre (*Cannabis sativa*) cultivé en champ. La densité de semis est de 60 kg de graines/ha.

Pour apporter des éléments de réponse à cette question, il est non seulement nécessaire d'étudier les fibres végétales en tant que telle mais aussi le matériel composite résultant de leur incorporation dans une matrice. Dans cette optique, le Laboratoire de Mécanique et de Physique des Matériaux (LMPM, CNRS/ENSMA/Université de Poitiers) et le Laboratoire de Physiologie Moléculaire du Transport des Sucres chez les végétaux (PhyMoTS, CNRS/Université de Poitiers) sont à l'origine d'un programme de recherche. Ils travaillent conjointement depuis plus de 2 ans sur cette thématique développée grâce à un financement de la région Poitou-Charentes.

Un programme pluridisciplinaire

Cette étude mobilise les compétences dans les domaines de la physiologie et du développement de la plante du PhyMoTS. L'aspect science des matériaux est quant à lui pris en charge par le LMPM, le Centre régional d'innovation et de transfert de technologie maté-

riaux de Rochefort, spécialiste des matériaux polymères et métalliques et par VALAGRO de Poitiers, Centre de R&D pour la valorisation industrielle des agroressources et notamment des fibres végétales.

L'avancée du programme nécessite de contrôler au mieux les différentes étapes allant de la culture des plantes à l'élaboration des matériaux et d'étudier l'impact des différentes étapes de fabrication sur les caractéristiques du produit fini. Cependant très rapidement, les laboratoires ont été confrontés à l'absence de filière chanvre en France voire en Europe. Aussi, pour mener à bien leur projet ils ont dû rechercher puis impliquer des agriculteurs et des artisans-tisserands de la région.

Des propriétés mécaniques remarquables

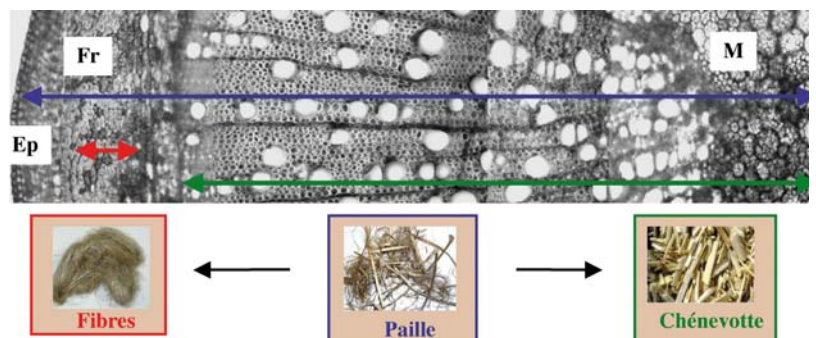
La tige de chanvre textile est constituée par différents tissus qui sont de l'extérieur vers le centre : l'épiderme, le tissu phloémien, le cambium, le xylème et la moelle. Les fibres longues sont des cellules appartenant au tissu phloémien. Ces cellules allongées ont un développement particulier qui se traduit par un épaississement considé-

nable de leur paroi pectocellulosique. Les fibres sont des cellules mortes. Dans la plante, elles sont organisées en faisceau le long de la tige et ont un rôle de soutien, en contribuant au port vertical de la tige. C'est la composition et la structure particulières de la paroi qui confèrent les propriétés mécaniques remarquables à ces fibres.

La qualité et la quantité des fibres provenant d'une plante dépendent des facteurs culturaux et environnementaux et aussi des traitements post-récoltes comme le procédé de séparation/récupération des fibres.

L'étape initiale permettant de séparer les fibres de la tige, le rouissage, consiste à faire macérer les tiges dans de l'eau. Une dégradation partielle, par voie enzymatique, des parois pectocellulosiques entraîne la dissociation des fibres du reste de la tige. Selon l'intensité du rouissage, il peut y avoir une individualisation plus ou moins importante des faisceaux de fibres voire des fibres elles-mêmes. Cette dégradation des parois pectocellulosiques est effectuée par des enzymes, notamment les pectinases, d'origine microbienne et fongique.

Les tiges de chanvre peuvent être rouies de deux façons : en eaux vives (ruisseau



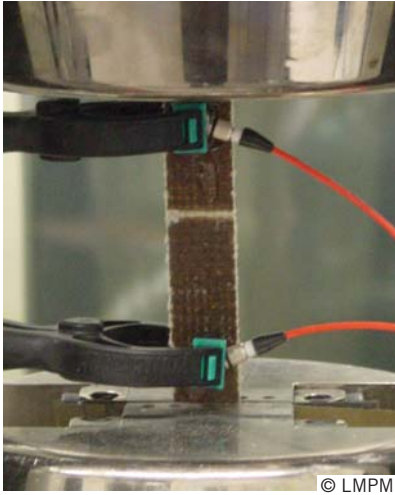
Coupe transversale de la tige de chanvre (*Cannabis sativa*) observées en microscopie photonique. Devenir des différentes parties de la tige : fibres et chènevotte. Ep : épiderme, Fr : fibre longue, M : moelle.

>> Pour en savoir plus

Les 18 et 19 mars 2010 à Poitiers

« Le chanvre dans tous ses états : de la plante au composite »

<http://colloque-chanvre2010.ensma.fr>



© LMPM

Essais de traction sur composites chanvre/époxy

ou rivière) ou en laissant les tiges directement sur le sol après récolte. L'efficacité de cette dernière technique de rouissage est, néanmoins, dépendante des conditions climatiques.

Un procédé pour simuler le rouissage des tiges en eau vive a été mis en œuvre dans des bacs de forte contenance. Les fibres ainsi obtenues ont été analysées chimiquement ce qui a permis d'établir une cinétique de dégradation pariétale.

De plus, des observations en microscopie photonique et électronique montrent que la longueur des fibres (environ 3 mm contre 0,1 mm pour les autres cellules), que leur organisation en quinconce et la cohésion entre les fibres sont à mettre directement en relation avec la possibilité de filer ces fibres et surtout avec les propriétés mécaniques du fil. À partir du fil, des tissus ont alors été élaborés et incorporés dans une matrice de polymère pour former les matériaux composites.

Matériaux composites et environnement

Les matériaux composites offrent à la fois légèreté, rigidité et une bonne résistance mécanique. Aujourd'hui, ces matériaux sont constitués de renforts de fibres synthétiques. Ces fibres présentent de nombreux inconvénients en matière de respect de l'environnement et au niveau de leur éco-bilan : bilan

énergétique défavorable lors de leur fabrication avec dans certains cas une forte émission de CO₂, problème d'abrasion des outils de transformation, nocivité respiratoire et de contact, impossibilité de recycler le composite obtenu. Les matériaux composites récupérés sur les avions et les bateaux sont actuellement broyés pour être incorporés comme charges dans des bitumes. Une autre solution serait la valorisation énergétique en les brûlant. Mais du fait de la très grande résistance thermique des fibres de verre, il faudrait fournir beaucoup plus d'énergie pour les brûler que celle que l'on récupérerait. Les fibres végétales, plus combustibles, apparaissent donc comme une solution au problème d'élimination des composites déchets.

Des études en cours

Dans le cadre du programme de recherche les composites étudiés sont constitués d'un empilement de sept plis de tissus de chanvre imprégnés par une résine époxy. Deux procédés de mise en œuvre ont été utilisés : le moulage au contact et l'injection. Les caractéristiques mécaniques des composites ainsi obtenus ont été évaluées grâce à des essais de traction. Ces essais ont été instrumentés à l'aide de différentes techniques afin de pouvoir suivre l'évo-

lution des endommagements dans ces matériaux. Par exemple, l'émission acoustique permet d'enregistrer les échos produits par les dégradations au sein du matériau pendant l'essai. De plus, après chaque essai, des observations microscopiques des échantillons rompus ont été réalisées au moyen de microscopes optiques ou électroniques. Par exemple, sur un faciès de rupture de composite chanvre/époxy, on voit très clairement les fibres constituant le fil de chanvre pointer hors de la surface de rupture. Les résultats obtenus ont montré l'importance de la qualité de l'interface fibre/matrice dans la tenue mécanique de ces composites.

La collaboration entre deux disciplines a permis d'acquérir de nouvelles données mécaniques sur le composite et les fibres longues. Aux vues des avancés réalisées dans ce programme, la mise au point de certaines étapes nécessaires à l'obtention de matériaux à fibres végétales reste indispensable avant leur utilisation à un niveau industriel. ■

Contacts :

Fabienne DEDALDECHAMP (PHYMOTS)

fabienne.dedaldechamp@univ-poitiers.fr

Audrey ABOT - audrey.abot@univ-poitiers.fr

Fabienne TOUCHARD (LMPM)

fabienne.touchard@lmpm.ensma.fr

Claire BONNAFOUS - claire.bonnafous@lmpm.ensma.fr

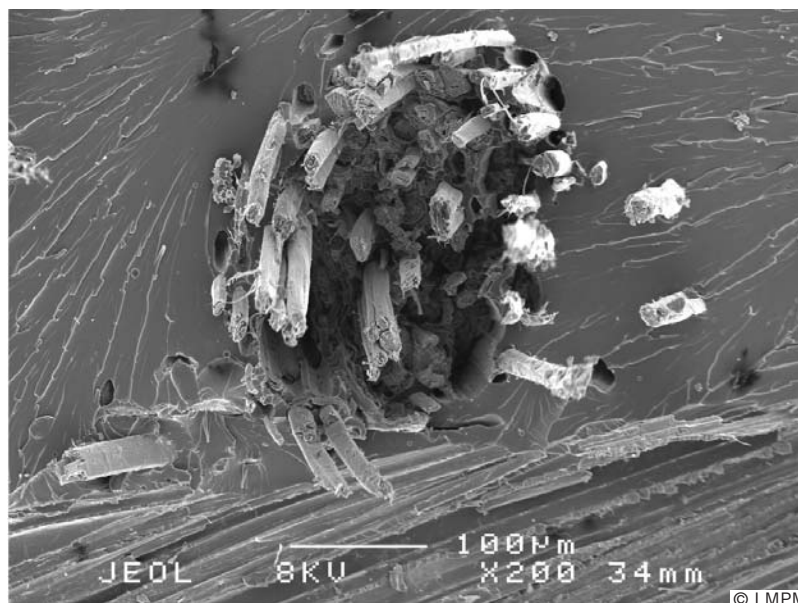


Image d'un fil de chanvre au microscope électronique à balayage sur un faciès de rupture de composite chanvre/époxy

Quand la matière contrainte livre ses secrets en temps réel

L'étude des matériaux en film mince est l'un des thèmes les plus fédérateurs en science des matériaux, pour leurs nombreuses applications. L'émergence de cette classe de matériaux est liée aux avancées significatives des méthodes de synthèse et de caractérisation sur des échelles extrêmement petites.

Les matériaux en films minces sont utilisés dans les composants microélectroniques, dans les systèmes micro-électromécaniques (ou MEMS), et dans les revêtements de surface dédiés à des fonctions très diverses : thermiques, mécaniques, tribologiques, environnementales, électriques, magnétiques et biologiques.

Le rôle primordial des contraintes

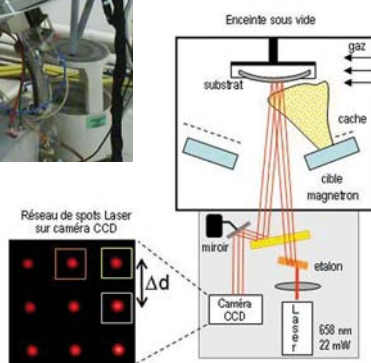
Les technologies de dépôt dites « physique en phase vapeur » offrent l'avantage d'un environnement propre, d'une grande flexibilité en termes de matériaux déposés (métaux, céramiques, semi-conducteurs et leurs al-

liages, etc.) et la possibilité d'effectuer les dépôts à basse température. Durant la croissance du film, toute modification microstructurale à l'intérieur de ce dernier va engendrer des contraintes liées au fait que les dimensions macroscopiques du film sont fixées par celle du substrat. Ces contraintes, dont les amplitudes peuvent atteindre plusieurs gigas pascals (GPa), peuvent avoir des conséquences désastreuses sur le comportement mécanique des couches et engendrer des phénomènes de cloquage, fissuration ou délaminage, limitant ainsi la durée de vie et l'intégrité des dispositifs étudiés. A contrario, un couplage bénéfique peut être induit sur les propriétés, comme la magnétostriction, ou la stabilisation de nouvelles phases non accessibles par des voies d'élaboration conventionnelles. Il est donc primordial d'étudier l'origine de la genèse des contraintes dans les couches minces afin de comprendre les mécanismes fondamentaux mis en jeu mais aussi afin de pouvoir contrôler le niveau de contrainte pour les applications visées. En particulier, dans les matériaux de très petites dimensions (nanostructures, films ultraminces...) le rôle des effets de surface, interfaces sur le développement ou la relaxation de ces contraintes est encore à l'heure actuelle assez mal compris et suscite donc un vif intérêt.

des objectifs d'une équipe du Laboratoire de Physique des Matériaux (UMR 6630 CNRS/Université de Poitiers). Expérimentalement, il est possible de mesurer avec une grande précision et sensibilité les contraintes dans de telles couches à partir d'un dispositif optique mesurant les variations de courbure d'un bilame film/substrat. Bien que le principe de cette mesure soit bien connu, ce n'est que très récemment qu'une équipe américaine a utilisé un système de multi-faisceau laser pour mesurer l'évolution de la courbure en temps réel lors de la croissance de films par évaporation thermique. Ce dispositif a été intégré au bâti de pulvérisation magnétron du laboratoire. Le principe est le suivant : un multi-faisceau laser sous forme d'un réseau 3x3 est dirigé sur la surface d'un substrat fin (50 à 200 μm d'épaisseur) libre de toute contrainte initiale. Les faisceaux réfléchis sont enregistrés sur l'écran d'une caméra CCD, et à partir de la variation relative des distances entre spots lasers sur la caméra, la contrainte est déterminée. Suivant son signe (tension ou compression), on observe alors une déflexion concave ou convexe. La résolution correspond à un rayon de courbure de 5 km, ce qui se traduit en termes de sensibilité à des variations de force par unité de longueur de 0,09 N/m en utilisant un substrat de 100 μm . De plus, on peut obtenir des informations sur la dynamique des processus de croissance avec une résolution temporelle de l'ordre de 0.1 s, ce qui correspond pour les vitesses de dépôts les plus lentes à une résolution spatiale bien inférieure à la fraction de monocouche. Ce type de mesures s'applique à tout type de



Bâti de pulvérisation magnétron et schéma de principe du dispositif de mesure optique kSA MOS de la courbure d'un bilame film/substrat.



Mesurer les contraintes en temps réel

L'étude de la variation de ces contraintes en temps réel peut apporter de nombreuses informations sur les modes de croissance, la nature des défauts, et les réactions aux interfaces. C'est un

matériau opaque que l'on peut déposer sur divers substrats (Si, verre, MgO, Al_2O_3). Les études menées au laboratoire concernent la croissance de métaux (Ag, Ni, Mo, Ti, W), les nitrures métalliques (TiN, ZrN, TaN), et les systèmes multicouches constitués d'un empilement périodique A/B. Il est d'ailleurs possible de suivre l'évolution des contraintes d'une couche individuelle à l'autre, et d'obtenir des informations sur les mécanismes aux interfaces A/B ou B/A.

La mobilité des atomes à la base des contraintes

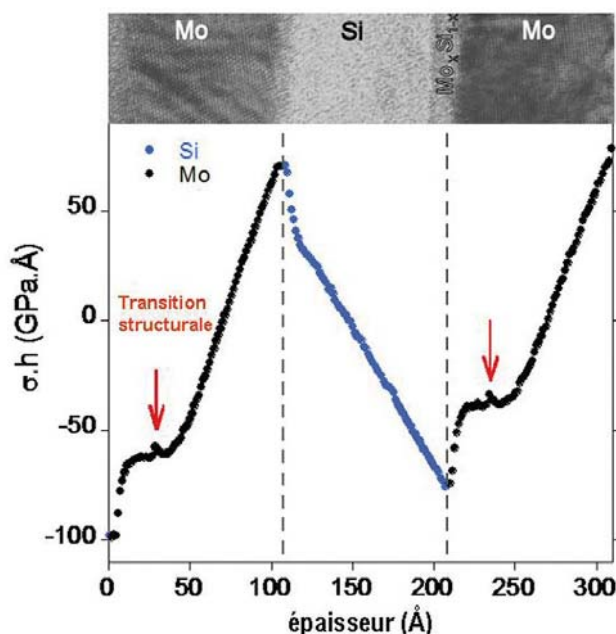
Dans le cas des métaux, l'utilisation de cette technique a permis de révéler l'interdépendance entre les mécanismes de croissance à l'échelle atomique et les variations de contraintes, qu'il s'agisse d'une génération ou d'une relaxation en cours de croissance. La présence de contraintes en tension ou compression dépend de la mobilité des atomes: les films à forte mobilité (Ag ou Al), présentent un comportement CTC (compression, tension, compression) lorsque l'épaisseur déposée augmente, alors que les films à plus faible mobilité (Mo ou Ti) restent en tension. Ces évolutions complexes sont liées à la morphologie de croissance des couches et sont très dépendantes de la cinétique et énergie des particules incidentes. Dans le cas des nitrures de métaux de

transitions, utilisés comme revêtements durs pour les outils de coupe ou couche barrière de diffusion dans la micro-électronique, la présence de gradients de contrainte en fonction de l'épaisseur a pu être mise en évidence. Suivant le type de métal, on peut obtenir des niveaux de contraintes en tension ou compression. La pulvérisation simultanée de deux cibles métalliques conduit à la fabrication d'alliages ternaires, tels Ti-Ta-N, l'ajustement de la composition chimique permettant de contrôler le niveau de contrainte. Enfin, dans le cas des multicouches

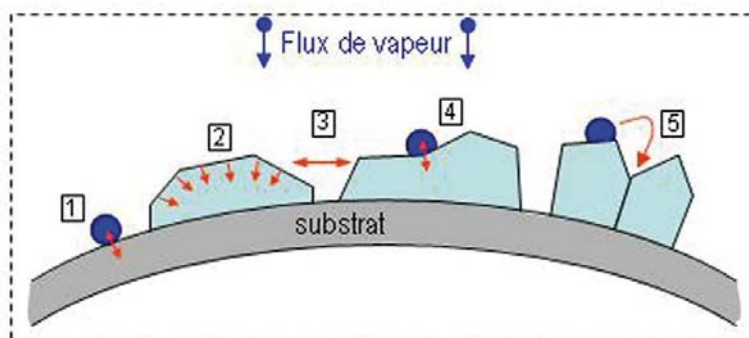
Mo/Si dont les applications sont corrélées à leurs propriétés optiques (domaine de l'extrême UV pour la gravure par lithographie) ou acoustiques (développement de transducteurs et de détecteurs dans le domaine du Téra-hertz), nous avons montré l'importance des effets interfaciaux et des transformations structurales sur les variations de contraintes dans les premiers stades de croissance. Les effets de contraintes de surface, formation d'alliage interfacial, transition amorphe-cristal ont pu être identifiés, à partir des évolutions mesurées, montrant ainsi toutes les potentialités offertes par cette technique de mesure *in situ*.

Cette technique, relativement simple de mise en œuvre, peut être adaptée à des mesures au cours de recuits thermiques ou d'irradiation par faisceaux d'ions, permettant ainsi de corréler les variations de contrainte aux changements de phases induits et/ou relaxation de défauts dans un solide. Elle s'avère aussi un outil de choix pour étudier les effets d'adsorption sur des surfaces réactives. ■

Contact
Grégory ABADIAS
Gregory.Abadias@univ-poitiers.fr



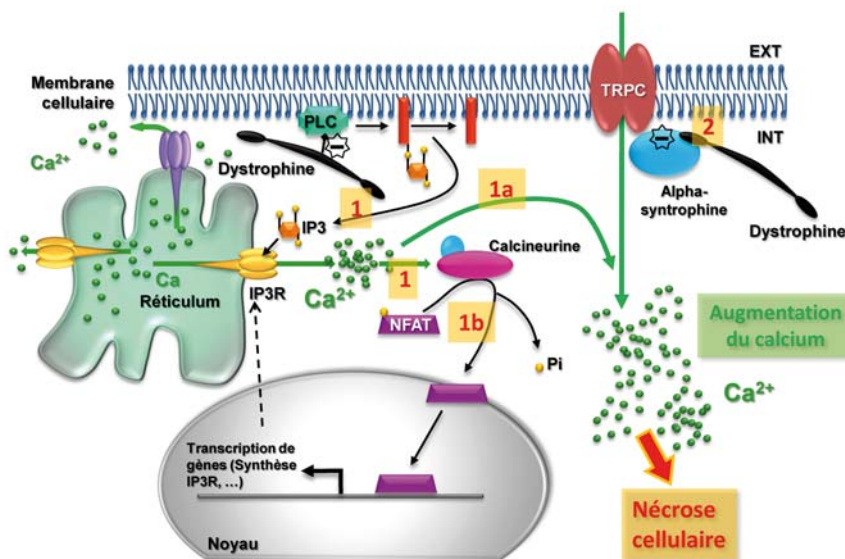
Évolution du produit contrainte épaisseur lors de la croissance d'une multicouche Mo/Si et image correspondante de microscopie électronique en haute résolution.



Mécanismes de croissance à l'échelle atomique induisant une variation de contrainte: adsorption en surface (1), suppression de Laplace dans un îlot de petite dimension (2), force attractive lors de la coalescence d'îlots (3), interaction adatome/surface, flux d'adatomes dans les joints de grains (5).

Myopathie, comment une maladie conduit à des découvertes fondamentales

Le grand public pense que l'étude d'une maladie mène directement à la découverte d'un traitement ou que l'objectif unique est la mise au point d'un médicament. En réalité le processus est souvent plus complexe : les investigations menées sur les aspects cellulaires d'une maladie débouchent souvent, voire systématiquement, sur la découverte de mécanismes plus fondamentaux et ayant une valeur qui ne se restreint pas à cette maladie ou au type cellulaire qui a permis de les mettre à jour.



L'absence de dystrophine lève l'inhibition (⚡) de 2 voies :
 - celle de la PLC et de la production d'IP3 **1** qui a un effet cytoplasmique **1a** et un effet génique **1b**
 - celle de l'échafaudage protéique comprenant les TRPC et l'alpha-syntrophine **2**
 Les deux mécanismes conduisent à l'augmentation du calcium intracellulaire et à la nécrose cellulaire

Schéma général simplifié des voies contrôlées par la dystrophine. L'absence de cette dernière exacerbe ces voies de signalisation et conduit à la mort cellulaire.

L'Association Française contre les Myopathies, organisatrice du célèbre et annuel "Téléthon", a bien compris cette démarche et soutient de façon régulière l'Institut de Physiologie et de Biologie Cellulaires (UMR 6187 CNRS / Université de Poitiers) à Poitiers. Grâce à ce soutien financier, et à la contribution d'acteurs locaux comme le CNRS, l'Université de Poitiers, la Communauté d'Agglomération de Poitiers (CAP) ou la Région Poitou-Charentes, des recherches de longue haleine ont pu être développées sur cette maladie génétique

qu'est la Dystrophie Musculaire de Duchenne.

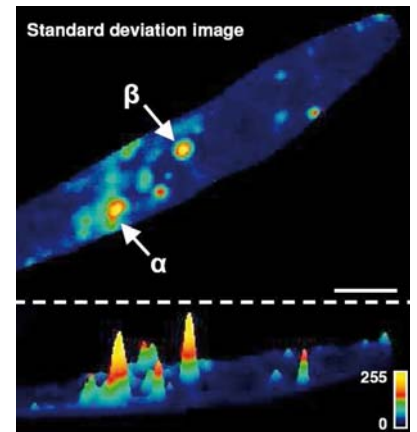
Absence de dystrophine

Cette myopathie, hélas toujours sans traitement efficace, résulte d'un défaut génétique qui empêche une protéine sous-membranaire, la dystrophine, d'être exprimée. Cette absence se traduit *in fine* par la nécrose des fibres musculaires et progressivement par une perte de la fonction contractile. Les patients atteints de cette maladie, après la perte de la mobilité qui leur impose le fauteuil

roulant, succombent généralement entre la vingtième année et la trentième année, en raison de défauts majeurs des muscles respiratoires.

Dérégulation calcique

Bien que la protéine en question soit bien identifiée, le lien entre son absence dans la cellule malade et la nécrose cellulaire reste très mal compris. L'IPBC fait partie des quelques laboratoires à avoir montré que l'absence de dystrophine s'accompagne d'une altération de la régulation calcique, en d'autres termes que la concentration des ions calcium à l'intérieur des cellules musculaires malades est perturbée. Or on sait qu'une augmentation du calcium favorise l'activation des protéases, enzymes qui vont détruire les protéines et ainsi



Grâce à une représentation de la déviation standard les sites de libération quantique de calcium (sparks) peuvent être localisés et dénombrés. On repère facilement les deux principaux sites alpha et bêta.

provoquer la nécrose c'est-à-dire la mort cellulaire. Mais par quels mécanismes la concentration du calcium est-il amenée à augmenter dans le cytoplasme? Les travaux récents du laboratoire mettent en évidence deux mécanismes nouveaux qui permettent au calcium intracellulaire d'être régulé, ou dérégulé dans le cas de la dystrophie. Ils ont conduit à la publication de deux articles importants et à la soutenance de deux thèses en cette fin d'année 2009.

Un rôle clé de l'IP3

Le premier travail a permis de montrer que lorsque la dystrophine est absente, la production intracellulaire d'Inositol-trisphosphate (IP3) est augmentée via la stimulation de la Phospholipase C (PLC). Cet IP3 va stimuler des récepteurs situés dans la membrane du réticulum sarcoplasmique. Cette liaison entraîne la libération de calcium par le réticulum vers le cytoplasme. Ce travail montre aussi que ce n'est pas le seul mécanisme à l'œuvre; dans le même temps, ce calcium d'origine interne, par la voie de la calcineurine, va favoriser la translocation dans le noyau cellulaire du facteur de transcription NFAT qui lui-même va entraîner une synthèse accrue des récepteurs à l'IP3. On a alors affaire à une double régulation: en associant une régulation cytoplasmique à une régulation de l'expression génique se forme un mécanisme d'amplification de l'excès de calcium qui ne peut conduire à terme qu'à la mort cellulaire par activation des processus nécrotiques.

Le cytosquelette: un échafaudage protéique indispensable

Un second travail a mis en évidence une seconde voie de transport du calcium constituée des canaux TRPC. Cette fois-ci le calcium est d'origine externe. Ces canaux laissent entrer du calcium à travers la membrane de la cellule musculaire. Cependant leur activité est dépendante de l'état de remplissage des stocks internes en calcium (le fameux

réticulum sarcoplasmique). Mais surtout, et c'est ici que réside l'originalité de la découverte, ils sont régulés par un échafaudage protéique sous-membranaire faisant intervenir de façon concertée ces canaux, la dystrophine et une autre protéine appelée alpha-syntrophine. Ce complexe protéique représente l'environnement physiologique du canal nécessaire à un fonctionnement normal et on comprend alors que, dans les conditions pathologiques de la maladie de Duchenne (DMD) où l'on observe une déficience en dystrophine et alpha-syntrophine, l'activité du canal soit perturbée. Cette dérégulation se fait dans le sens d'une augmentation d'activité qui se traduit par une entrée de calcium cumulative et persistante dans le cytoplasme et dans les mitochondries. Cette entrée participe, là aussi, à l'activation de protéases dépendantes du calcium et à la mort cellulaire. Il est ainsi montré comment l'intégrité du cytosquelette est essentielle au maintien de l'homéostasie calcique à travers la mise en place d'un complexe macromoléculaire de signalisation. En d'autres termes, la présence de canaux membranaires ne suffit pas à faire (ou à défaire) la fonction, mais exige une architecture macromoléculaire bien plus complexe.

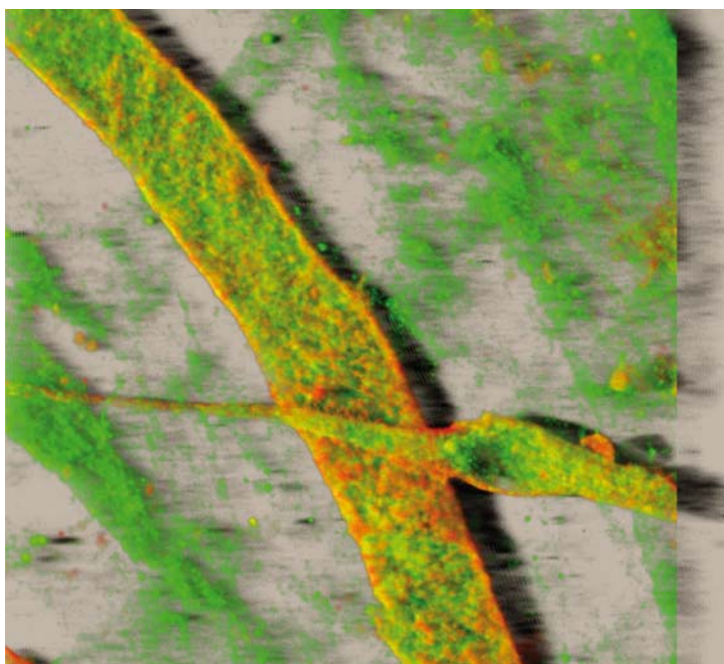
Des mécanismes universels

Ces découvertes peuvent ouvrir des pistes à la recherche de traitements pharmacologiques de la maladie mais ont aussi une signification plus globale. Les mécanismes décrits (double régulation cytoplasmique et génique, régulation par échafaudage de protéines) peuvent s'appliquer à nombre d'autres types cellulaires puisque pratiquement toutes les cellules animales possèdent les structures et protéines décrites ici. ■

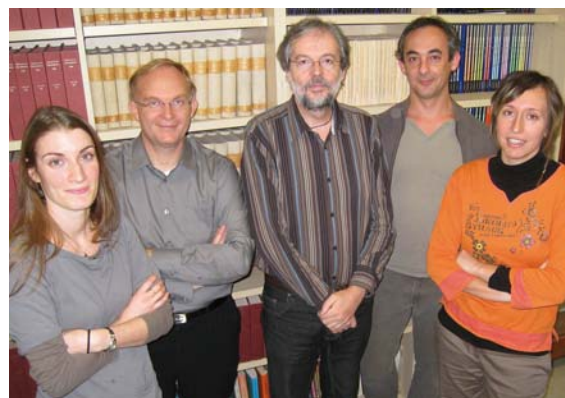
Contacts:

Christian COGNARD
christian.cognard@univ-poitiers.fr
Stéphane SEBILLE
stephane.sebille@univ-poitiers.fr
Bruno CONSTANTIN
bruno.constantin@univ-poitiers.fr

Représentation pseudo3D de l'immunomarquage de la dystrophine (en rouge) et de la syntrophine (en vert) dans une cellule musculaire.



L'équipe qui a mené les travaux comprend chercheurs CNRS, enseignant-chercheurs et doctorants: de gauche à droite Ludivine Mondin, Stéphane Sebille, Christian Cognard, Bruno Constantin et Jessica Sabourin.



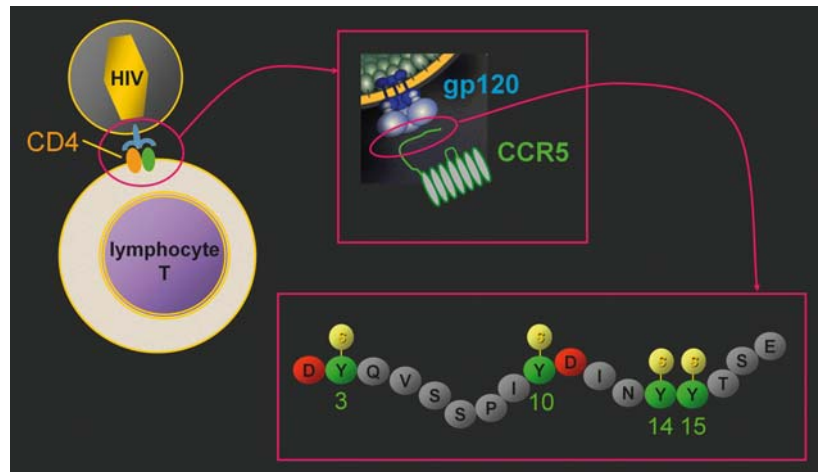
Le vivant à l'échelle moléculaire

La recherche de nouvelles molécules actives, que ce soit en médecine ou en cosmétique, peut passer par l'étude de mécanismes biologiques au niveau moléculaire au sein des organismes ou de leurs cellules. La spectrométrie de masse est une technique très prometteuse dans ce domaine.

La plupart des processus qui permettent à un organisme vivant de survivre, de fonctionner et de se multiplier, repose pour l'essentiel sur l'interaction de protéines avec différents partenaires au sein des cellules. Le code génétique étant stocké dans l'ADN, ce sont en pratique les protéines qui sont les maîtres d'œuvre de la vie au niveau moléculaire. Un même gène peut donner lieu à différentes formes de protéines; d'une part selon le tissu ou le stade de développement d'un être vivant, d'autre part par des phénomènes « d'édition » de la séquence nucléotidique de ce gène. Ainsi, même si on estime qu'il existe environ 20 000 gènes susceptibles de coder pour des protéines dans le génome humain, il existe un nombre encore plus grand de protéines exprimables à partir de ces gènes, peut-être plus d'un million selon certaines estimations.

Où est la panne ?

Une erreur de fabrication (ou biosynthèse) d'une protéine, de routage ou de reconnaissance d'une cible cellulaire propre à celle-ci, est généralement le premier pas vers la maladie. Les équipes de spectrométrie de masse du Centre de Biophysique Moléculaire (CNRS - UPR4301) et de l'Institut de Chimie Organique et Analytique (Université d'Orléans/CNRS, UMR6005), constituant la Fédération de Recherche « Physique et Chimie du Vivant » (CNRS - Université d'Orléans - FR2708), disposent d'un arsenal de méthodes de caractérisation fine de molécules de



Entrée en contact du virus HIV avec la cellule humaine (lymphocyte T), zoom sur interaction gp120-récepteur (point d'ancrage), re-zoom sur les sulfatations.

toutes tailles, ceci pour comprendre les mécanismes du vivant au niveau moléculaire. C'est cette caractérisation qui constitue la première étape vers la découverte de nouveaux traitements thérapeutiques: il faut diagnostiquer la panne pour trouver le bon outil de réparation.

De nombreuses « décorations »

Une des caractéristiques les plus remarquables des protéines est qu'elles sont « décorées ». Produites après traduction du gène en protéine, ces décorations s'appellent les « modifications post-traductionnelles ». Elles ont pour effet de réguler l'activité des protéines, de les « étiqueter » afin qu'elles soient reconnues par d'autres molécules ou par des systèmes de dégradation, de les ancrer dans une membrane, de les intégrer à une cascade de signalisation, de

les « adresser » à un compartiment cellulaire, ou bien encore de définir une identité immunologique (groupes sanguins). D'une manière générale, les modifications leur confèrent une capacité à reconnaître finement et sélectivement leur partenaire de travail.

Ce sont donc ces modifications post-traductionnelles qui permettent à une protéine donnée d'exercer un rôle précis dans le labyrinthe moléculaire qu'est la cellule. La spectrométrie de masse est utilisée pour caractériser ces modifications, et pour relier le type de modification à la fonction de la protéine.

Les isoformes de protéines

Ici apparaît un autre niveau de complexité: on connaît à ce jour plus de 300 types de modifications différentes, et d'autres sont encore à découvrir. Par le jeu des combinaisons de ces modifi-

cations, une protéine humaine peut exister sous 30 000 formes différentes, appelées « isoformes ». Un cas exemplaire est celui des histones, protéines protectrices et régulatrices de l'activité de l'ADN. Les modifications des histones affectent directement l'expression des gènes : on parle aujourd'hui d'un véritable « code histone », entité émergente, indépendante du code génétique. La spectrométrie de masse à haute résolution couplée à la séparation nano-LC, par la mesure des masses de peptides modifiés et de leurs morceaux après cassure (la « fragmentation ») a permis de trouver récemment plus de 200 sites de méthylation (fixation d'un groupement méthyl ou CH₃) sur un segment d'histone. On voit que le nombre de combinaisons possibles croît exponentiellement avec le nombre de sites, et que les histones ont en effet un très large choix d'accords à jouer à partir de ces notes.

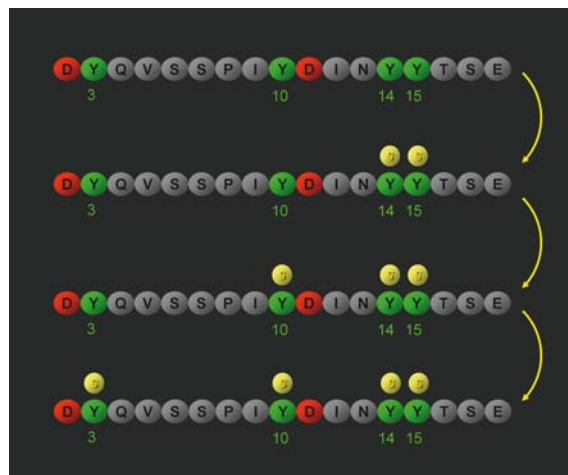
De nouveaux moyens de lutte contre le HIV

Certains acteurs cellulaires sont connus pour contrôler la susceptibilité d'une cellule aux infections rétrovirales. Parmi ces acteurs, il existe une protéine appelée corécepteur CCR5 qui est impliquée

dans la reconnaissance et l'entrée intracellulaire du virus HIV-1. Dans l'optique de la recherche d'antiviraux bloquant l'entrée du virus dans les cellules, il est important de comprendre en quoi des modifications situées en des endroits précis de la protéine interviennent dans les relations virus-hôte cellulaire.

La spectrométrie de masse MALDI-TOF permet de détecter des sulfatations successives de certains acides aminés, les tyrosines. La sulfatation se fait par des enzymes naturellement présentes dans les cellules et progresse avec une séquence particulière. Comme ces sulfatations de tyrosines sont le point d'ancrage du virus, ce résultat, associé à d'autres découvertes, conduit à imaginer des molécules bloquant l'entrée du virus dans les cellules. Des molécules actives qui empêchent la sulfatation ou s'interposent entre le virus et le récepteur CCR5 pourraient être conçues sur la base de molécules de synthèse ou de substances naturelles.

En tant que détecteur « quasi-universel » de molécules, la spectrométrie de masse permet de caractériser non seulement la molécule active et sa protéine cible, mais également l'interaction entre les deux partenaires. La spectrométrie de masse est un ensemble de techniques en évolution constante dont ce domaine de recherche pourra pleinement bénéficier. Face à ce large champ d'investigation, la mise en commun d'équipements et de compétences des 2 équipes de la fédération de recherche « Physique et Chimie du Vivant » (FR2708) permettra d'acqué-



La sulfatation des tyrosines de la protéine CCR5, corécepteur responsable de l'entrée du virus HIV dans les cellules humaines, suit un ordre séquentiel, de la droite vers la gauche sur le peptide de bout de chaîne. Dans la séquence de la protéine, les acides aspartiques (indiqués en rouge) participent à la reconnaissance par les enzymes sulfotransférases. Les additions successives de sulfates par les enzymes ont été détectées par une combinaison de méthodes chromatographiques, de protéolyse, et d'analyses en spectrométrie de masse MALDI-TOF.

rir avec une plus grande clarté et rapidité les connaissances nécessaires à la découverte de futurs traitements. La spectrométrie de masse est un ensemble de techniques en évolution constante. Grâce au soutien de la Région Centre et de l'Université d'Orléans, une plateforme de spectrométrie de masse à haute résolution (supérieure à 50 000) équipée d'un module de fragmentation ETD sera mise en place prochainement. Cette plateforme cogérée par les 2 équipes de la fédération permettra aux chercheurs de bénéficier des dernières avancées dans le domaine de la spectrométrie de masse pour l'étude du vivant à l'échelle moléculaire. ■

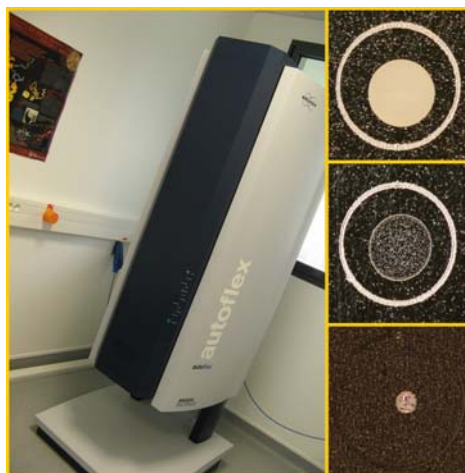
Contacts:

Martine CADENE

martine.cadene@cnrs-orleans.fr

Benoit MAUMIT

benoit.maunit@univ-orleans.fr



Spectromètre de masse MALDI-TOF (gauche) et types de dépôt d'échantillon avec matrice (droite de haut en bas : couche ultra-fine, goutte sèche, anchorchip).

StraPolÉté, l'étude de la stratosphère polaire en été

Dans le cadre de l'Année Polaire Internationale, le Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (CNRS/Université d'Orléans) coordonne le projet scientifique « StraPolÉté » de mesure et d'analyse, par ballons stratosphériques, de la haute atmosphère terrestre en Arctique. Cette étude permettra de mieux comprendre les interactions ozone-climat.



© LPC2E

Tests préparatoires et réglage au sol du système de pointage de l'instrument SALOMON-N2 (Spectroscopie d'Absorption Lunaire pour l'Observation des Minoritaires et NOx – Nacelle 2) du LPC2E qui permet la visée d'un astre tout au long du vol. La source lumineuse étant pour ce projet le soleil pour des mesures de jour des composés BrO, O₃ et NO₂. Par le passé la lune a été utilisée pour des mesures de nuit d'autres composés.

L'évolution des échanges de chaleur (bilan radiatif) de la stratosphère (couche au-dessus de 10 km d'altitude) n'est pas prise en compte à ce jour dans les modèles participant aux projections de changement climatique de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007). Ce bilan radiatif est en particulier contrôlé par les contenus en ozone, en gaz à effet de serre associés à la chimie de l'ozone, mais également en aérosols de suies. Il dépend de la latitude et de la saison, mais est également perturbé par les activités humaines. Par exemple, durant la période estivale, l'illumination solaire est prolongée (c'est le jour polaire) et elle induit une diminution de la concentration d'ozone stra-

tosphérique. On observe également un large mouvement d'air entraînant l'arrivée de masses atmosphériques provenant de latitudes inférieures. De manière concomitante, une augmentation des concentrations en aérosols de suies présents dans la stratosphère en Arctique est observée. Elle est probablement liée aux feux de forêts boréaux. Les activités humaines ont aussi d'ores et déjà modifié le régime des vents et par conséquent la température de la surface de la planète en région antarctique. Cependant les mécanismes par lesquels ces modifications de bilan radiatif dans la stratosphère interfèrent avec les couches troposphériques sont très mal connus.

Deux questions clés

La stratosphère polaire en été est très peu documentée, malgré son intérêt. Cela tient à des raisons historiques, la communauté s'étant focalisée sur l'hiver polaire et les mécanismes de formation du trou d'ozone, mais également à des raisons techniques avec une instrumentation (satellites et ballons) procédant par occultation solaire et ne permettant d'effectuer des mesures au-delà de 50°N en été.

Les questions principales qui sont posées dans le projet « StraPolÉté » concernent (1) la connaissance de l'état dynamique et de la composition caractérisant la stratosphère polaire d'été, et (2) la capacité des modèles mathématiques à simuler de façon appropriée les mécanismes mis en jeu. Pour répondre à ces deux questions, une campagne de mesures à l'aide de ballons stra-

tosphériques du CNES (Centre national d'Études Spatiales) a été réalisée en août 2009 pour sonder la stratosphère Arctique durant l'été.

La campagne de mesures en Suède

Cette campagne scientifique s'est déroulée sur la base d'Esrange (N 67° 53', E 21° 05') au Nord de la Suède. Une flotte de 7 ballons a été conçue et lâchée. Des instruments utilisant des techniques de mesures différentes et complémentaires ont été déployés pour échantillonner finement *in situ* un grand nombre d'espèces chimiques réactives et traceurs et les aérosols, depuis la haute troposphère jusqu'à la moyenne stratosphère. Les instruments embarqués étaient par exemple des spectromètres, interféromètre, radiomètre, hygromètre



© S. CHEVRIER LPC2E/CNRS/UNIV. ORLÉANS
Instrument SWIR sur le pas de lancement avant le lancer.



© LPC2E

Instrument SPIRALE en vol à environ 800 m d'altitude.



S. CHEVRIER LPC2E/CNRS/UNIV ORLEANS

Lancement de l'instrument SPIRALE du LPC2E le 07 Août 2009 3:25 du matin heure locale. Le ballon principal de 150 000 m³ vient d'être largué, l'instrument est encore porté par ses deux ballons auxiliaires permettant que l'instrument ne soit pas traîné au sol au moment du largage du ballon principal.

StraPoIETé

est un projet d'une durée de 3 ans qui a débuté en janvier 2009. Il est coordonné par le Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement l'Espace (LP2CE – CNRS/Université d'Orléans) partie prenante de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de la région Centre (OSUC). StraPoIETé regroupe des scientifiques de laboratoires français (Laboratoire "Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales" (UMR CNRS/Universités Paris 6, Versailles St Quentin), Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA, UMR CNRS/Université de Lille 1), Laboratoire de physique moléculaire pour l'atmosphère et l'astrophysique (UMR CNRS/Université Paris 6) et européens (NILU, Norvège et Université d'Heidelberg, Allemagne). Il est financé par l'Agence Nationale pour la Recherche, l'Institut Polaire Paul Emile Victor et le Centre National d'Études Spatiales. Ce projet participe à l'effort de la communauté scientifique internationale pour l'étude des régions polaires regroupé au sein de l'Année Polaire Internationale.

et compteurs d'aérosols. Sur le site, une trentaine de scientifiques, incluant tous les corps de métiers (mécaniciens, électroniciens, opticiens, thermiciens), étaient présents pour l'intégration des instruments, leur étalonnage avant le vol et leur récupération-démontage. Ces derniers ont été épaulés par une équipe de 17 personnes du CNES pour la mise en œuvre des aérostats (2 météorologues pour prévoir les trajectoires de vol, 9 lanceurs, 4 personnes en charge des télémesures-télécommunications en vol, 1 responsable opérationnel et 1 chef de mission). Au total plus de 730 jours de missions sur site ont été comptabilisés pour cette campagne.

Le premier vol a eu lieu le 3 août 2009 et le dernier vol le 7 septembre 2009. Les ballons utilisés, pouvaient emporter les instruments scientifiques jusqu'à 35 km d'altitude, et présentaient des volumes allant de 35 000 m³ à 150 000 m³ d'hélium ou d'hydrogène. L'ensemble des instruments a fonctionné et a volé dans des conditions géophysiques pertinentes.

Les résultats présentés en janvier

Les données ainsi obtenues vont permettre de discriminer l'origine des masses d'air sondées, qu'elles soient issues des régions tropicales, des moyennes latitudes et feux de forêts

boréales troposphériques. Elles seront complétées par des mesures issues de satellites offrant une large couverture spatiale de cette région. L'analyse des données sera effectuée à l'aide de modèles mathématiques performants pour étudier les processus dynamiques (modèle de trajectoire, d'advection de contour) et de chimie-transport à l'échelle globale. Les chercheurs souhaitent mieux comprendre les mécanismes majeurs qui gouvernent la distribution des traceurs, des aérosols et du brome. Le brome atmosphérique est particulièrement étudié en raison de son impact sur la perte d'ozone dans la stratosphère.

Les premiers résultats seront présentés à la réunion annuelle du projet les 20 et 21 janvier 2010. L'ensemble des mesures seront également mises à disposition via la banque de données ETHER (CNES/ INSU-CNRS). ■

Contact:

Nathalie HURET

nathalie.huret@cnrs-orleans.fr

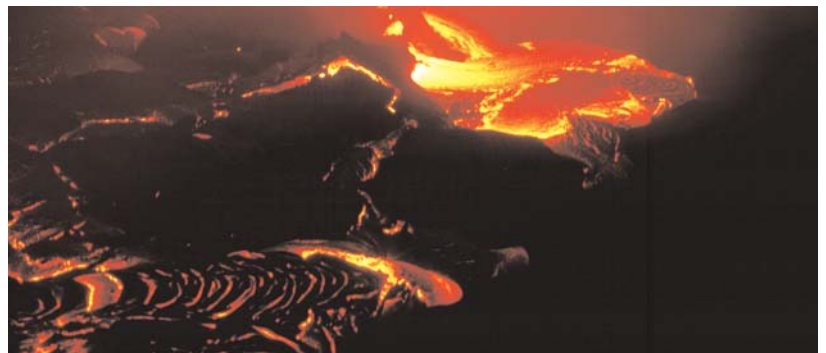
Les instruments mis en œuvre et leurs principales caractéristiques:

Instrument (laboratoire)	Technique de mesure	Mesures effectuées	Gamme d'altitudes des mesures & résolution verticale	Masse de l'instrument
SPIRALE LPC2E	<i>In situ</i> Absorption directe (moyen IR)	O ₃ , CH ₄ , N ₂ O, HCl, CO, HNO ₃ , NO ₂ , OCS	9 km-30 km 5 m	500 kg
SWIR LPMAA	<i>Mesures à distance</i> IR, visée nadir et limbe	CO, CH ₄ , CO ₂ , OCS	Partial columns	500 kg
LPMA LPMAA	<i>Mesure à distance</i> IR, Occultation solaire	O ₃ , HNO ₃ , NO, NO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HCl	15 km-30 km 1 km	500 kg
DOAS Univ Heidelberg	<i>Mesure à distance</i> UV, occultation solaire	BrO	15 km-30 km 1 km	
SALOMON-N2 LPC2E	<i>Mesure à distance</i> UV-visible, pointage solaire	O ₃ , NO ₂ , BrO, Extinction des aérosols	15 km-30 km 1 km	180 kg
STAC LPC2E	<i>Mesure à distance</i> UV-visible, pointage solaire	Distribution dimensionnelle des aérosols	10 km-30 km 10 m	
MicroRADIBAL LOA	<i>Mesure à distance</i> Photopolarimètre aérosols	Nature (liquide, solide), Distribution dimensionnelle des aérosols	15 km-30 km 1 km	80 kg

Les interactions mathématiques-géosciences

Les mathématiques sont au cœur des géosciences en fournissant des techniques sophistiquées pour traiter des problèmes aussi bien de recherche qu'industriels. Le laboratoire de mathématiques, applications et physique mathématique d'Orléans (MAPMO - UMR 6628 CNRS/Université d'Orléans) participe actuellement à plusieurs projets de recherche régionaux et nationaux.

Les géosciences regroupent de nombreuses disciplines : géodynamique, volcanologie, sismologie, hydrogéologie, océanographie acoustique, sciences de l'atmosphère, ... Elles font usage d'une grande variété d'outils mathématiques pour modéliser les observations de terrain et les mesures en laboratoire, ainsi que pour quantifier les phénomènes. Les enjeux sont d'importance : environnement (du devenir des tourbières au stockage du CO₂), énergie (prospection et production d'hydrocarbures, confinement des déchets), gestion des ressources naturelles et prévision des catastrophes (éruptions volcaniques, inondations, tsunami...). Inversement, les géosciences en milieu



académique et industriel ont engendré des développements mathématiques en analyse des équations aux dérivées partielles, en analyse harmonique, en statistique et en calcul scientifique.

Simuler le ruissellement des eaux de pluie

Le projet ANR « METHODE » (Modélisation de l'Écoulement sur une Topographie avec des Hétérogénéités Orientées et des Différences d'Échelles) est un projet pluridisciplinaire, qui regroupe mathématiciens (MAPMO, INRIA, Ponts et Chaussées...) et hydrologues (INRA, CEMAGREF, BRGM...). Il s'intéresse aux problèmes multi-échelles en hydrologie, afin d'améliorer la lutte contre les crues et l'érosion des sols. Il propose de nouveaux modèles pour simuler le ruissellement des eaux de pluie sur les surfaces cultivées. L'un des points originaux est de prendre en compte à l'échelle d'une parcelle (hectare) l'effet des sillons, dont la taille est d'ordre décimétrique, sur la direction d'écoulement de l'eau, sans pour autant utiliser une représentation détaillée des sillons. Le projet développe un logiciel de simulation pour ce type d'écoulement, pour

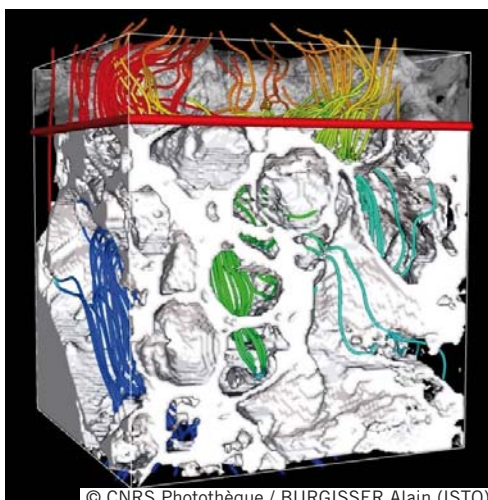
lequel un dépôt de licence libre est actuellement en cours.

Modéliser les bulles de gaz dans le magma

Le comportement des bulles dans un magma volcanique régit le caractère explosif (« péleén ») ou effusif (« hawaïen ») des éruptions, ainsi que le dégazage, c'est-à-dire l'impact atmosphérique des gaz volcaniques. Le MAPMO collabore avec l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO – UMR 6113 CNRS/Universités d'Orléans et de Tours) sur ce sujet, autour du projet ERC « DEMONS ». L'évolution de la population de bulles de gaz dans le conduit volcanique dépend à la fois de la vitesse d'exsolution du gaz qui les fait grossir et de la coalescence qui tend à assembler les petites bulles pour en former de plus grosses. Une modélisation détaillée de ces deux phénomènes, validée sur des expériences de laboratoire récentes réalisées à l'ISTO, est en cours de réalisation.

Sauvegarder le patrimoine bâti historique

Un autre projet, financé par la Région Centre, « PASTIS » (Procédés d'Analyse



© CNRS Photothèque / BURGISSER Alain (ISTO)

Modélisation d'écoulement de fluide au sein de ponces volcaniques. Le volume 3D de ponce reconstruit par microtomographie sert de base à un modèle numérique de mécanique des fluides. La partie supérieure a été enlevée afin de montrer les lignes de courant de fluide (rouge : haute pression ; bleu : basse pression). Les zones de fort écoulement se marquent par des lignes de courant resserrées. Ce type de données permet de déterminer notamment la perméabilité de la ponce au gaz volcanique. Le volume de ponce analysé fait environ 30 microns de côté.

Structurale du Tuffeau par Imagerie et Segmentation) concerne le domaine de l'imagerie des milieux poreux. Sa finalité, en collaboration avec l'ISTO, est de développer des outils d'analyse d'images (segmentation, restauration, segmentation en région) pour des milieux poreux multiphasiques présentant des phases texturées, en l'occurrence des échantillons de tuffeau. Ces outils permettront de quantifier l'importance des modifications de la porosité de surface induite par des techniques de bio-remédiation. En perspective à ce projet, il est envisagé d'utiliser ces données pour simuler l'écoulement de fluide (comme l'eau, principal vecteur de l'altération) dans la porosité du matériau. Ces études contribueront à terme à la sauvegarde du patrimoine bâti historique.



Analyser le sous-sol

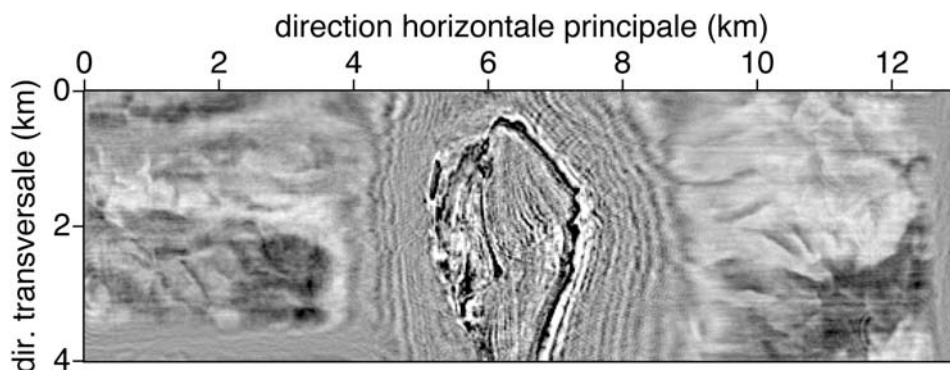
Des projets avec l'université de Purdue et le Massachusetts Institute of Technology (MIT) aux États-Unis sont en cours dans le domaine de l'imagerie sismique (dont un financé par le fond MIT-France). Il s'agit de simuler la propagation des ondes sismiques dans des milieux géologiques complexes (présence de failles, de dômes de sel) en ayant recours aux techniques de l'analyse microlocale et harmonique. L'accent est ainsi porté sur la partie « haute fréquence » des champs d'ondes. L'analyse microlocale permet de formuler précisément la notion de front d'onde qui est au cœur de l'interpréta-

tion des données sismiques par les géophysiciens. Une difficulté est d'obtenir des algorithmes de calcul suffisamment efficaces pour être utilisés sur le problème inverse (identification du milieu géologique à partir des enregistrements sismiques). Le développement de couches absorbantes pour la simulation numérique est un point important de ces projets.

Par ailleurs, le MAPMO, et plus généralement la fédération Denis-Poisson (qui regroupe le MAPMO et le Laboratoire de Mathématiques et Physique Théorique de Tours – UMR CNRS/Université de Tours), est associé au projet CaSciModOT (CALcul SCientifique et MODélisation des universités d'Orléans et de Tours) depuis 2004. Ce projet réunit, en région Centre, les acteurs de la modélisation et du calcul scientifique. Dans ce cadre et en collaboration avec l'OSUC, un centre de calcul régional, le CCSC, a été installé à l'ISTO en 2009. Les (six) premiers projets qui ont porté le CCSC sont centrés sur les géosciences (climatologie, risques naturels, modèle numérique de terrain, ruissellement, pierre de Tuffeau, volcanologie). Le CCSC est cependant ouvert à toutes les équipes et domaines scientifiques et a la volonté d'établir des collaborations avec les entreprises. Le projet CaSciModOT devrait devenir un « cluster » de la Région Centre en 2010. ■

Contact:

Jérôme LE ROUSSEAU
jerome.le-rousseau@univ-orleans.fr



Coupe horizontale d'un dôme de sel dans une section sismique 3D en Mer du Nord (image court. Total. Source : Le Rousseau et al., *Geophysics*, vol. 68, 1132-1139, 2003).

LA 11^{ÈME} RENCONTRE « MATHÉMATIQUES ET INDUSTRIE »

La 11^{ème} rencontre « Mathématiques et industrie » qui a eu lieu le 4 février 2010 avait pour thème « Mathématiques et Géosciences ». Elle rassemblait à Orléans des industriels, des mathématiciens, des géologues et des géophysiciens travaillant à l'interface entre géosciences et mathématiques.

Les exposés des industriels de grandes entreprises (Areva, CGG-Veritas), de PME (Géo-Hyd, Geovariances) et d'un institut à mi-chemin entre industriels et milieu académique (Institut Français du Pétrole) ont été l'occasion de présenter quelques cas concrets de réalisations fructueuses d'aujourd'hui et d'envisager les pistes d'interaction de demain et d'encourager les collaborations entre acteurs académiques et industriels. Ils ont permis aussi d'identifier les compétences dont les industriels ont et auront besoin. Ce dernier point nourrissait une réflexion sur l'orientation des futures formations universitaires.

A ces exposés a succédé une table ronde à laquelle ont participé, avec les industriels, le BRGM (service Risques Naturels et Sécurité du Stockage du CO₂), les sociétés savantes de mathématiques (la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI), la Société Mathématique de France (SMF) et des institutions universitaires d'enseignement et de recherche (Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre, Polytech'Orléans).

Cette rencontre était organisée par la SMAI et le CNRS, avec les soutiens de l'INRIA et de la SMF.

Thomas Harriot, un astronome précurseur

Thomas Harriot, savant anglais, fut l'un des plus grands chercheurs de la Renaissance, introduisant en Angleterre l'algèbre, le calcul binaire et la géométrie des coniques développant la cartographie à base de trigonométrie sphérique. Il découvrit avant Galilée la loi de la chute des corps en théorisant la balistique. Il ouvrit aussi la route d'une astronomie copernicienne fondée sur l'observation.

Portrait de Thomas Harriot dans le réfectoire d'Oriel College, Oxford. (by courtesy of the Provost of Oriel College, Oxford).



« [mardi] 11 septembre 1610, l'apparence [de la lune] était notable. Effilochée sur le côté. Avec des collines... & des promontoires. Ce que j'observai particulièrement était un promontoire figurant le corps du fameux homme, correspondant à la marque (a). Je n'ai pas pu dessiner la totalité de la figure autrement que de mémoire parce que j'avais un problème d'espace. » Cette note, écrite par Thomas Harriot l'année même où Galilée contemple lui aussi les cieux à la lunette astronomique, accompagne l'un des premiers dessins cartographiques de la lune jamais réalisés. L'allusion à « l'homme dans la lune » renvoie à une représentation populaire à l'époque, pleine de fantasmes sur une silhouette que de nombreuses personnes croyaient discerner.

Un astronome « privé »

Thomas Harriot, formé à Oxford, est remarqué par Raleigh qui le prend comme conseiller en matière de navi-

gation. En 1587, il rencontre un ami de ce dernier curieux de sciences : Henry Percy, Comte de Northumberland, qui l'invite chez lui à Syon House (près de Londres) et lui offre une généreuse pension. À partir de ce moment, Harriot travaille au sein d'un cercle de savants-philosophes à la fois cartographes, spécialistes d'optique, de théorie atomiste et de sciences de la vie. La bibliothèque unique du Comte offre à la petite académie privée des ressources sans pareilles.

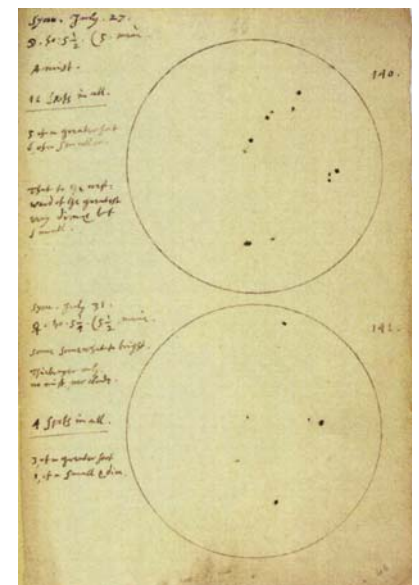
Durant l'été 1609, Harriot pointe pour la première fois vers les étoiles un cylindre équipé de lentilles. Depuis 1607, il correspond avec Kepler au sujet des étoiles, car la connaissance de leur position est utile à la navigation. En 1591, Harriot prend d'ailleurs des notes sur les mouvements de l'étoile polaire autour du zénith. Lors de ses séances d'astronomie, sa méthode est stricte : il note les conditions météorologiques, l'aspect des nuages, la date et l'heure précise de l'observation. Son équipement s'étoffe au fil du temps. Ses télescopes (des instruments à lentille) adoptent des tailles variées avec des grossissements de 6X à 32X. Leur champ est limité et lorsqu'il cartographie la lune, Harriot ne peut appréhender la totalité de sa circonférence. Il mène de front quatre grandes enquêtes : sur le soleil, sur les comètes, sur les satellites de Jupiter et sur la lune.

Un précurseur des études de la lune et du soleil

Harriot a été l'un des premiers à étudier les taches solaires, ceci avant Galilée.

Il regardait en général le soleil directement sans verres fumés, juste avant son coucher ou à son levé, comme l'indique sa note : « Syon, samedi 8 décembre 1610. L'altitude du soleil était de 7 ou 8 degrés. Le temps était à la gelée et au brouillard. J'ai vu le soleil de cette manière. L'instrument 10/1.B. Je l'ai vue à une ou deux reprises, une fois avec l'œil droit, une autre avec le gauche. En une minute. Après cela, le soleil était trop brillant. »

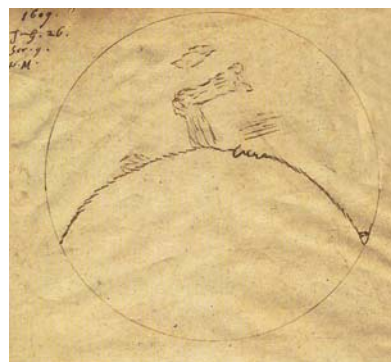
En 1611, cependant, souffrant de problèmes ophtalmologiques, il adopte des verres colorés. Il calcule la période de rotation des taches sur un an et les cartographie à l'aide d'un astrolabe. Ses premières observations de la lune sont datées du 26 juillet 1609 et précèdent de trois semaines celles de Galilée. Les quelques dizaines de dessins lunaires des archives de Petworth ont



Observation des taches solaires par Harriot



Carte de la lune de Harriot après Galilée



Carte de la lune en juillet 1609

été réalisés entre 1609 et 1612. Ils montrent diverses phases de l'astre, cartographient les cratères et ce qu'Harriot identifie à des mers et des chaînes de montagnes. Le savant s'intéresse particulièrement à la ligne de division entre la face ensoleillée et la face cachée car les ombres portées prouvent à ses yeux l'existence de reliefs. Il cherche également à déterminer avec précision le moment où l'astre se dichotomise pour déterminer la distance du soleil mais il n'achève pas ses calculs. Il réalise en été 1610 une carte de la pleine lune, tâche ardue car son télescope ne lui permet de voir qu'une partie de son objet. Le dessin, où l'on voit le cratère de Tycho, est très inspiré de la gravure de Galilée dans le *Messenger des Étoiles* car Harriot corrige ses observations. Néanmoins, l'Anglais se pose des questions sur son confrère. Sa méfiance est fondée car Galilée exagère bel et bien le caractère « vérolé » de la lune à des fins polémiques : les cratères remettent en effet en question la vision aristotélico-ptolémaïque des jésuites qui voudraient que les objets appartenant à la sphère céleste démontrent la plus grande perfection.

Des satellites de Jupiter aux comètes

La lecture du *Messenger des Étoiles* a bouleversé Harriot, la découverte qui y est dévoilée de satellites tournant autour de Jupiter le fascine. En octobre 1610, il peut vérifier ce que son homologue Toscan a vu neuf mois plus tôt. L'affaire est d'importance car elle prouve la théorie de Copernic : en regardant Jupiter, on observe un analogue du système solaire ! Harriot multiplie les diagrammes et note les positions des quatre « étoiles nouvellement trouvées ». Hélas, il ne peut, malgré ses calculs, établir une règle mathématique prévoyant la position des satellites, et pour cause : Ganymède (baptisée par Harriot : Jovi proximus!) et les autres étoiles joviennes tournent autour de Jupiter mais également autour de la terre et autour du soleil, ce qui produit des trajectoires visibles doublement épicycliques d'une redoutable complexité d'autant qu'Harriot les imagine de base elliptique.

Les autres objets célestes vers lesquels Harriot lève les yeux sont les constellations et les comètes. Dès 1607, il identifie la comète de Halley et décrit son

parcours par rapport aux constellations environnantes. En tout, 41 folios des archives de Petworth sont ainsi dévolus aux étoiles filantes de 1607 à 1618, preuve que l'intérêt pour les « météores » resta pour Harriot longtemps d'actualité et pour cause : les calculs de parallaxe auxquels il se livre, qui situent les comètes au-dessus du monde sublunaire, démontrent en effet les erreurs de Aristote. Si les comètes n'appartiennent pas à la sphère où nous vivons, le dogme de la perfection des cieux doit être remis en cause, ce qui donne crédit aux idées de Copernic... et de Galilée.

Harriot reste méconnu aujourd'hui parce que le système social auquel il appartenait déterminait la clôture de la recherche scientifique autour de l'espace privé de son cercle de patronage. Ses travaux restèrent sous forme manuscrite et seuls les membres du cercle de Percy furent amenés à connaître ses découvertes célestes ahurissantes. ■

Contact :

Pascal BRIOIST

Pascal.Brioist@univ-tours.fr

Centre d'Études Supérieures de la Renaissance
(UMR 6576 CNRS/Université François Rabelais de
Tours)

Une résidence comtale autour de l'an mil

La petite résidence comtale d'Andone s'élève en marge de l'actuelle commune de Villejoubert (Charente). C'est la première fois en France qu'une fortification princière des environs de l'an mil suscite une enquête archéologique exhaustive. Elle fait l'objet depuis 2003 d'un programme de recherche du Centre d'études supérieures de civilisation médiévale de Poitiers (CESCM, UMR CNRS 6223).

Une forteresse rapidement abandonnée

La résidence est établie dans la seconde moitié du Xe siècle par les comtes d'Angoulême de la dynastie Taillefer, aristocrates apparentés aux Carolingiens. La construction du castrum semble liée à la fois au voisinage de la forêt comtale de Boixe, à la mainmise des Taillefer sur le monastère voisin de Saint-Amant et au conflit armé qui opposa le comte Arnaud Manzer (975-988) à l'évêque Hugues de Jarnac. À la génération suivante, Guillaume IV (988-1028) s'entend avec le nouveau prélat pour transférer entre 1020 et 1028 la résidence d'Andone vers le château stratégique de Montignac et pour déplacer le monastère de Saint-Amant à proximité de cette petite agglomération.

Les bâtisseurs du Xe siècle remodelent le site, auparavant occupé par une nécropole du VIIe siècle avant notre ère puis par un modeste établissement rural gallo-romain. Ils construisent une enceinte maçonnée large de 2 mètres et précédée à l'extérieur par un glacis d'argile et un large fossé. Cette enveloppe, défendant un espace de 2000 m², s'ouvre par deux portes disposées à l'est et à l'ouest. Les bâtiments en pierre adossés à la courtine communiquent avec deux cours abritant de multiples structures annexes en bois. Ils comprennent, au nord, un ensemble résidentiel organisé autour d'une grande salle de réception surmontant une salle basse obscure. Le bâtiment sud, de plain-pied, se compose de quatre pièces qui furent – entre autres – utilisées comme écurie, forge et espace de stockage.

La courte existence de ce site en fait un



Restitution du castrum vu depuis l'ouest (infographie M. Linlaud, logiciel 3DSMax).

jalón important dans la genèse du château médiéval. Il constitue un intermédiaire entre les résidences carolingiennes ouvertes et les grands châteaux abritant la demeure de nombreuses familles chevaleresques qui se développent au cours du XIe siècle.

Des objets par centaines de milliers

Le très riche mobilier associé à ces structures permet de saisir la vie quotidienne d'un groupe aristocratique et de mieux comprendre la fonction des différentes parties du site. Plusieurs milliers de vestiges prouvent que les occupants sont avant tout des cavaliers. Le ferrage des chevaux, mules et ânes – innovation alors récente – témoigne d'une parfaite adaptation à chaque animal et de remar-

quables connaissances vétérinaires. Une ample collection de mors et d'éperons vient compléter cet aspect. L'armement de guerre, conservé avec un soin jaloux, n'a guère laissé de traces, si l'on excepte quelques écailles d'armures à plaques. Au contraire, l'équipement de chasse est particulièrement bien représenté, qu'il s'agisse d'arbalètes (une autre innovation du Xe siècle), d'arcs, d'épieux ou de longues trompes d'appel en terre cuite. Les restes de faune sauvage représentent d'ailleurs près de 4 % des ossements rejetés, avec une prédilection particulière pour le cerf, le lièvre et une grande variété d'oiseaux. La présence d'une meute de chiens et de rapaces probablement dressés vient compléter ce tableau.

>> Pour en savoir plus :

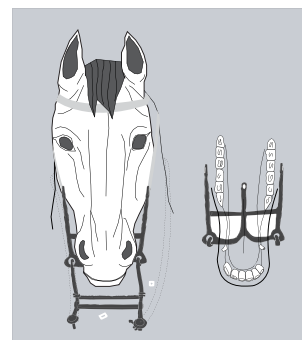
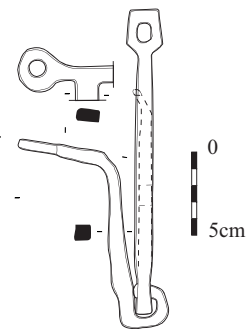
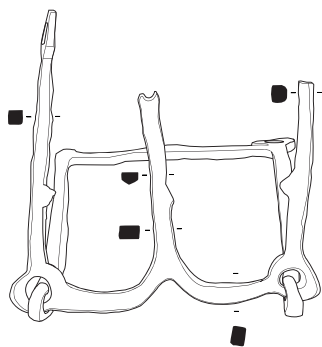
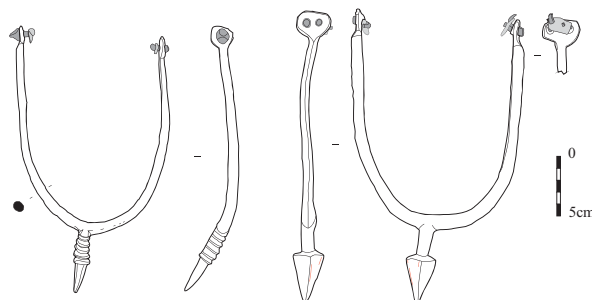
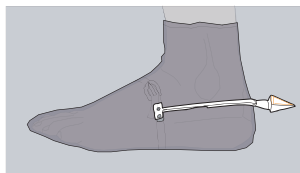
Une résidence des comtes d'Angoulême autour de l'an mil : le castrum d'Andone. Fouilles d'André Debord, Caen, Publications du Centre de recherches archéologiques et historiques médiévales, 2009.

Le mobilier du site est désormais présenté au musée des Beaux-Arts d'Angoulême www.angouleme.fr/museeba

L'économie du site dans son environnement

Il ne faut toutefois pas réduire la résidence d'Andone au rôle de simple « pavillon de chasse ». Même si le proche massif forestier a été exploité, le site est principalement environné de vignes et de labours. Il constitue le centre d'un domaine rural géré de manière assez classique même si la consommation de viande présente des caractères élitaires : forte proportion de porcs, jeunes bovins engraisés uniquement pour leur viande, élevage d'animaux de prestige comme le paon. La vaisselle intègre également quelques récipients exceptionnels, comme des mortiers en pierre pouvant témoigner de l'usage des épices et des gobelets à boire en verre.

Le bâtiment résidentiel et ses abords immédiats ont livré quelques pièces d'échecs parmi les plus anciennes découvertes en Occident et de nombreux pions de trictrac. Ces deux jeux demeurèrent longtemps l'apanage de l'aristocratie. De nombreux éléments de serrurerie et de quincaillerie permettent d'évoquer l'abondance des coffres et coffrets au sein du mobilier mais également la structure des portes et des volets. L'éclairage est assuré par des foyers à plat fort sommaires (mais on peut envi-



Éperons et mors de bride, fer étamé ou argenté (dessins N. Portet).

sager l'existence de cheminées à l'étage) et par des lampes en terre cuite et en calcaire. L'entassement des structures dans l'enceinte et la répartition dans l'espace des différentes catégories de mobilier livrent l'image d'une grande promiscuité entre hommes et animaux mais également d'une hygiène toute relative. Si les déchets font l'objet d'épandages successifs dans les cours, remblais immédiatement recouverts de nouveaux sols, les restes de jonchées – lits de paille garnissant les sols et périodiquement renouvelés – se mêlent à de nombreux débris en bordure des pièces, pour le plus grand plaisir des chiens, des rats noirs et des oiseaux de basse-cour. Andone a aussi servi de cadre à de modestes activités artisanales. Des forges temporaires produisent des fers d'équidés et leurs clous, des armatures de flèches et de carreaux d'arbalètes. Les bois de cerfs et les ossements d'animaux domestiques sont mis à profit pour réaliser des pièces d'arbalète ou de jeu et des placages de coffrets. Enfin, différentes étapes de l'élaboration de la laine,

du lin et du chanvre constituent le seul indice d'une présence féminine. Ces différentes productions attachées à la résidence des comtes d'Angoulême ne doivent toutefois pas amener à restituer une existence quasi autarcique. De rares objets « exotiques » viennent élargir l'horizon économique du site : fibules masculines originaires de l'empire germanique ou de l'espace anglo-saxon, perles en verre au plomb imitant l'ambre produites dans les comptoirs danois d'Angleterre, verrerie islamique, imitation de bol en céladon chinois réalisée au Proche-Orient, etc. La résidence rurale d'Andone exprime bien l'existence privilégiée de grands aristocrates et de leur entourage, même si le faible intérêt stratégique et le confort sommaire du site invitèrent à le transférer rapidement vers l'habitat voisin de Montignac, beaucoup plus proche de l'image classique du château médiéval. ■

Contact: Luc BOURGEOIS
luc.bourgeois@univ-poitiers.fr



J.-P. Brouard/CESCM

Fibule en bronze émaillée décorée d'un oiseau. Sud de l'Empire germanique ou espace anglo-saxon. Les miniatures contemporaines montrent que ces bijoux étaient destinés à fermer le manteau masculin.



Visite d'ICARE (Orléans)



Atelier Graines de chercheurs (Orléans)



Stand du GREMI (Orléans)

Les sciences sont à la fête !

La Fête de la Science est chaque année une occasion privilégiée de dialogue et d'échange entre la science et la société. Pour la 18^{ème} édition, un nombreux public est venu profiter de ce rendez-vous traditionnel pour s'informer des évolutions scientifiques et technologiques au CNRS. En délégation Centre Poitou-Charentes, de nombreux chercheurs, ingénieurs et techniciens s'étaient mobilisés pour l'occasion.

Orléans

Cette année, le campus CNRS d'Orléans-La Source accueillait la Fête de la Science et tous ses partenaires (Université, BRGM, INRA, CEMAGREF, ONF, CNAM, INRAP et associations locales). Les laboratoires ont ouvert leurs portes en proposant à un très large public des

ateliers, conférences, cafés des sciences, visites ou expositions en lien avec leurs thématiques scientifiques (« Les matériaux en conditions extrêmes », « Voyage au cœur d'une pièce de monnaie », « Les énergies de demain sur terre et dans l'espace », « Le temps et l'espace à l'époque médiévale », « Les sciences de la terre », « Un œil sur l'espace », « De la molécule à l'organisme »). Les laboratoires ne pouvant ouvrir leurs portes, étaient accueillis au Village des sciences avec les différents partenaires. Leurs stands proposaient une présentation de leurs recherches sous forme de démonstrations ou d'exposition. Les ateliers dédiés aux enfants de 6/12 ans ont attiré de nombreuses « graines de chercheurs » qui ont pu s'initier à l'expérimentation scientifique avant d'aller rencontrer les scientifiques dans les laboratoires. De même le rallye scientifique, à travers une dizaine de questions, incitait à la découverte des recherches menées sur le campus et dans ses unités. Sur 2 jours, 5 500

personnes sont ainsi venues s'initier ou s'informer des recherches menées à Orléans.

Tours

Le Village des Sciences était hébergé sur le site des Tanneurs de l'Université François Rabelais. Chercheurs, enseignants chercheurs, ingénieurs et techniciens ont présenté de nombreuses activités pour familiariser le public au monde de la recherche et aux nouvelles technologies. En deux jours, 3 000 personnes ont parcouru le Village des sciences où, notamment, les laboratoires CNRS/Universités proposaient des animations, des démonstrations, et des conférences (« Darwin : tout ce que vous avez toujours voulu savoir », « Darwin, le voyage d'un naturaliste autour du monde », « Des blocs d'architecture antiques et des charpentes médiévales racontent l'histoire des villes » une présentation en exemple des sites de Chinon et Saint Cosme », « Pourquoi j'ai mangé mon chien ? » une exposition d'ar-

Stand de l'IRAMAT (Orléans)





Village des sciences (Orléans)



Stand de CITERES (Tours)



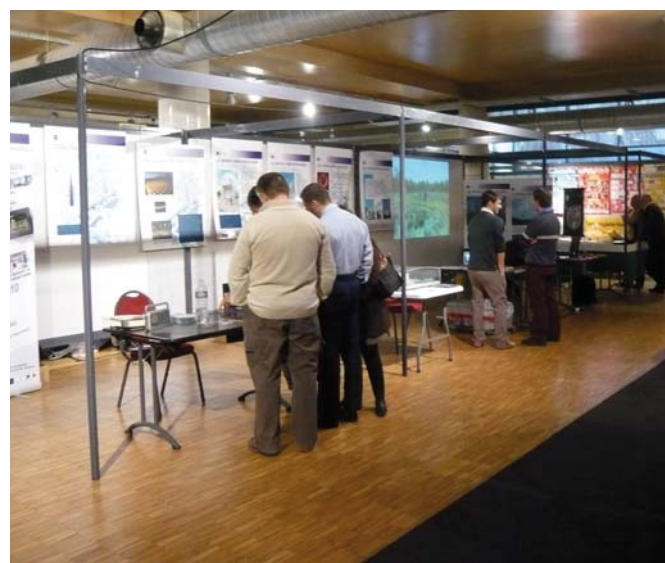
Stand du LEMA (Tours)

chéologie des animaux au Muséum de Tours, « La qualité des différents types d'éclairage de différentes sources lumineuses domestiques (halogène, basse consommation, LED, ...) », « Le train supraconducteur en lévitation », « Les ondes gravitationnelles » une nouvelle fenêtre sur l'Univers, les trous noirs et les étoiles compactes: virgo (le détecteur franco-italien), systèmes binaires, supernovae..., « Les étoiles à neutrons et les étoiles étranges », « Comprendre la forme des tâches du Léopard », « La physique des particules au LHC »).

Vierzon, à la rencontre de la Radioastronomie

Pour la première fois, la ville de Vierzon

a accueilli, au centre des congrès, la Fête de la Science. La Station de Radioastronomie de Nançay participait au village des sciences qui a reçu plus de 1 000 visiteurs sur 2 jours. Coïncidence! Le stand de la Station jouxtait des salles baptisées des noms de deux contributeurs à la création et à l'évolution de la Station en 1953 (Yves Rocard et Jean Heidmann). Le public vierzonnais a ainsi pu découvrir les radiotélescopes (maquette du grand radiotélescope), la future installation S.K.A (Square Kilometre Array - le plus grand télescope jamais construit pour la radioastronomie) et son prototype EMBRACE (démonstrateur Electronic Multi-Beam Radio-Astronomy Concept) mais aussi



Stand de la Station radioastronomie de Nançay (Vierzon)



Lors de la Fête de la science, un autre événement est venu animer le campus CNRS d'Orléans. Des élèves de seconde du Lycée Voltaire d'Orléans-La Source, en collaboration avec des chercheurs du Laboratoire de Physique Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E – UMR CNRS/Université d'Orléans) qui conçoivent et exploitent des ballons stratosphériques à des fins scientifiques, ont réalisé une nacelle de mesures de températures, humidité, pression et luminosité de l'atmosphère.

La nacelle de près de 3 kg, réalisée par les lycéens, a été placée sous un ballon stratosphérique qui s'est élevé à environ 30 km d'altitude. Pendant le vol, la nacelle a transmis par liaison radio des données que les élèves ont suivies en temps réel depuis le LPC2E.

Pour les lycéens, l'objectif pédagogique était de s'impliquer dans un travail collectif de recherche, d'étude et de réalisation technique en seulement deux mois, en définissant un cahier des charges et en concevant la nacelle.

Cette opération « Un ballon pour l'école » s'est déroulée sous l'égide du CNES et de l'association Planète Science. Elle était programmée dans le cadre « Des mercredis de l'espace » organisée conjointement par le CNES, le Rectorat de l'académie d'Orléans-Tours et le CNRS le mercredi 18 novembre. Depuis, les chercheurs du LPC2E ont accompagné les lycéens pour l'exploitation des données recueillies.



Visite du LPC2E (Orléans)



Conférence au Centre d'Etudes Biologiques de Chizé

apprendre l'implantation prochaine d'un nouveau radiotélescope, l'instrument européen LOFAR (un grand réseau d'antennes basses fréquences). Pour compléter ces présentations la Station a également proposé une visite de ses installations, notamment grâce au film réalisé lors du tournage de la « Carte au trésor » en 2009. Une série de panneaux descriptifs de l'ensemble des installations et des recherches réalisées à Nançay complétaient la diffusion de films. De plus, une petite manipulation permettait, en outre, aux visiteurs de comprendre l'utilité des grillages présents sur les bâtiments et sur les antennes.

Bertrand FLOURET



Stand/atelier du LIENSs (La Rochelle)

Exposition au CEBC



Chizé

Les personnels du Centre d'Études Biologiques de Chizé se sont mobilisés pour proposer un programme varié sur les recherches interdisciplinaires sur l'écologie et l'évolution des vertébrés dans les milieux naturels et modifiés du CEBC. En lien avec l'année Darwin, le centre a organisé des conférences, des expositions ainsi que la présentation de ses recherches. Le public était invité à s'inscrire à l'opération « Des nichoirs dans les plaines », projet d'éducation à l'environnement et à la préservation de la biodiversité (cf. microscop HS 17 novembre 2008). 300 personnes ont ainsi visité le CEBC le samedi 21 novembre 2009.

La Rochelle

Pour le lancement de la Fête de la Science sur La Rochelle, les chercheurs de LIENSs ont ouvert les portes de leur laboratoire à l'Institut du Littoral et de l'Environnement, pour faire part de leurs travaux de recherches à un public passionné. À l'Aquarium de La Rochelle plusieurs conférences traitant des paysages marins en haute mer ou de la biodiversité dans le cadre de l'année Darwin ont été proposées. À la faculté des sciences de l'Université de La Rochelle plus de 2 500 étudiants et curieux ont visité l'exposition « Sur les traces de Darwin » accompagnée de posters faisant un lien direct



Stand du LIENSs (La Rochelle)

avec les travaux de recherche du laboratoire.

L'événement « Passez au Salon », réalisé au Muséum d'Histoire Naturelle de La Rochelle a conclu cette édition 2009. Des chercheurs en « charentaises », spécialisés en génétique des populations et en taxonomie des vertébrés et invertébrés marins ont pu échanger avec plus de 500 personnes dans un décor convivial et confortable. C'est avec un réel plaisir que les chercheurs de LIENSs se sont mobilisés pendant cette opération.

D'autres rencontres sont programmées tout au long de l'année 2010, permettant d'échanger et de partager les travaux

des chercheurs avec un public toujours curieux et enthousiaste. Le laboratoire LIENSs est acteur du réseau de culture scientifique de la Charente Maritime et de la Région Poitou-Charentes. Ainsi depuis quelques années, les chercheurs diffusent régulièrement leurs connaissances et animent des ateliers, en partenariat, avec le Muséum d'Histoire Naturelle de La Rochelle, l'ÉCOLE de La Mer et les Petits Débrouillards.

Armelle COMBAUD

Poitiers

Cette année les scientifiques poitevins sont allés à la rencontre du public toute la semaine du 16 au 20 novembre en

se déplaçant dans des établissements scolaires pour présenter leur métier, leur recherche. Le week-end, de nombreux laboratoires ont participé aux animations (expositions, débats, conférences, visites) coordonnées par l'Espace Mendès-France, CCSTI de la région Poitou-Charentes. Les laboratoires s'étant beaucoup investis dans l'animation de « Place aux Sciences » (voir ci-dessous) début novembre, ils n'ont pu tous participer à la Fête de la Science. Les actions proposées ont toutefois été très appréciées d'un public curieux des sciences et des nouvelles technologies. ■

Stand du LMS (Poitiers)



Poitiers fait place aux sciences

L'Université de Poitiers a organisé du 6 au 8 novembre 2009 « Place aux Sciences », en collaboration avec les organismes de recherche partenaires de ses unités (CNRS, ENSMA, INSERM, CHU, INRA). Expériences, démonstrations, dialogues avec les chercheurs ont permis à tous les publics de découvrir la richesse et la diversité de la recherche ainsi que le métier de chercheur. Un espace était également dédié à l'information du public sur les filières de l'Université de Poitiers. Plus de 4 000 visiteurs (dont de nombreux scolaires) ont participé à cette manifestation grand public de valorisation socioculturelle de la recherche. ■



Organisées par la SERL (Société Ecologique à Responsabilité Limitée)

serl2010.univ-tours.fr

èmes

Rencontres ÉCOLOGIE & COMPORTEMENT



Tours

12 - 16 avril 2010

Sessions

Sélection sexuelle

Stratégies d'approvisionnement & parasitisme

Sélection d'habitat & dispersion

Comportements de groupe & interactions entre individus

Neuroéthologie & écophysiologie

Biologie évolutive, conservation & applications

Pour les doctorants et post-doctorants

Inscription, repas et hébergement gratuits pour les participants



ECOLE DOCTORALE
"SANTÉ, SCIENCES,
TECHNOLOGIES"

