microscoop

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

n°80 - juillet 2019

Paléontologie

Une affaire de singes...

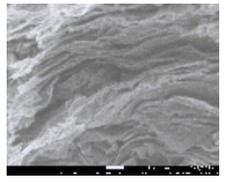
Environnement

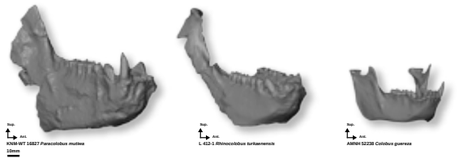
Une solution *Made in Touraine* pour la valorisation collective des biodéchets

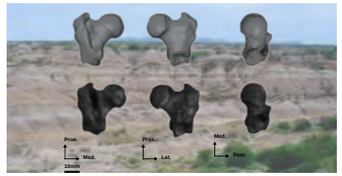
Une année de plus

Matériaux

Réfractaires, une innovation brûlante







4 Paléontologie

- Une affaire de singes...

6 Environnement

- Une solution *Made in Touraine* pour la valorisation collective des biodéchets
- Une année de plus

10 Histoire

- Le trésor caché de Saint-Marc

12 Matériaux

- Réfractaires, une innovation brûlante
- Des tapis de nanotubes de carbone pour les champs pétroliers
- Le MXène, un mille-feuille aux multiples talents

20 Témoignage

- Qu'en pensent-elles ?

22 Actualités

ISSN 1291-8083

Photo couverture : Colobe noir et blanc à la recherche de nourriture © Istock

CNRS Centre Limousin Poitou-Charentes
3E, Avenue de la Recherche Scientifique
CS 10065 45071 ORLÉANS CEDEX 2
T 02 38 25 52 01
F 02 38 69 70 31
www.dr8.cnrs.fr
Contact : Communication@dr8.cnrs.fr
@DR08_CNRS

Directeur de la publication
Ludovic Hamon

Secrétaires de la publication
Florence Royer
Manon Parent

Création graphique/conception
Linda Jeuffrault
Hugo Guimonneau

Ont participé à ce numéro :
Damien André, Catherine Batiot-Dupeyrat, Mohamed Benchakar, Jean-Renaud Boisserie, Stéphane Boyer, Stéphane Célérier, Maxime Cornillon, Cécile Dars, Guillaume Daver, Glyn Derrick, Franck Guy, Marc Huger, Lola Loupias, Sébastien Moreau, Élisabeth Nau, Laurent Pallas, Manon Parent, Jacques Poirier, Alexandre Poli, Corinne Taste, Benoît Teychene, Maria Aimé Villano, David Violleau

Imprimeur - Prévost Offset
Impression sur papier Couché Silk PEFC
PEFC
10-31-3175 / Certifié PEFC / pefc-france.org

Éditorial

Ce nouveau numéro de Microscoop met en avant l'excellence et l'attractivité des recherches menées dans les laboratoires implantés en Centre Limousin Poitou-Charentes. Les laboratoires communs créés récemment ou en cours de création en sont une parfaite illustration. Il faut en effet souligner que 18 laboratoires communs avec des partenaires industriels sont actifs sur le territoire de la délégation et 6 autres sont en projet. Le laboratoire commun est l'un des outils majeurs de la stratégie de partenariat industriel du CNRS ; il s'agit d'un projet structurant et pluriannuel à forts enjeux scientifiques et industriels entre un ou plusieurs laboratoires et un industriel, qui a pour objectif la réalisation d'un programme de recherche co-construit et co-dirigé, avec des engagements humains, matériels et budgétaires partagés. Nous devons poursuivre cette dynamique qui permet d'ancrer durablement sur le territoire des partenariats structurants avec des industriels.

Ce nouveau numéro de Microscoop innove en proposant de nouvelles pages dédiées à des témoignages de collègues sur des sujets de société transverses aux activités de recherche. Nous commençons par le témoignage de chercheuses sur la place des femmes au CNRS. C'est l'occasion de rappeler que le CNRS a défini un plan d'actions pour favoriser l'égalité professionnelle, pour promouvoir la transversalité de l'approche genre en recherche et valoriser les carrières scientifiques et techniques auprès des jeunes, notamment des jeunes filles.

La diffusion de la culture scientifique est en effet déterminante pour susciter des vocations mais aussi pour partager avec les citoyens les principes d'une démarche scientifique. La délégation régionale a contribué à la diffusion de cette culture scientifique en accueillant dans ses locaux notamment, la finale académique du concours C Génial, la radio scolaire "Radio2B" avec l'interview de personnels des unités de recherche…

Pour la célébration des 80 ans du CNRS, les laboratoires poitevins se sont unis pour proposer un cycle de conférences sur toute l'année 2019. Microscoop ne peut s'en faire l'écho "au fil de l'eau" mais la programmation est annoncée via CNRS Hebdo, newsletter hebdomadaire de l'établissement. Il en va de même pour d'autres opérations tel le Centre Galois à Orléans qui vient aussi de fêter ses 10 ans ou de l'exposition "*S'inspirer du vivant : le biomimétisme de Léonard de Vinci à nos jours*".

Les 80 ans du CNRS contribuent ainsi à diffuser la culture scientifique auprès de tous les publics. Je tiens à remercier tous ceux qui se sont mobilisés pour célébrer cet anniversaire depuis ce début d'année en Centre Limousin Poitou-Charentes. Nous poursuivrons cette célébration jusqu'à la fin de l'année.

Je vous souhaite de très agréables vacances estivales.

Ludovic Hamon
Délégué régional

CNRS Hebdo : http://www.dr8.cnrs.fr/CNRS-Hebdo/Lettre/derniere/Lettre.aspx
Centre Galois : http://centre-galois.fr/
Exposition : www.romorantin.com/exposition-sinspirer-vivant/

Une affaire de singes...

Des découvertes récentes effectuées par le laboratoire PALEVOPRIM (UMR 7262 CNRS & Université de Poitiers) ont mis en lumière de nouvelles perspectives sur l'histoire et le succès évolutif des singes cercopithécidés sur le continent africain.

© Istock

Colobe noir et blanc à la recherche de nourriture.

Avec des écologies diverses et une distribution géographique couvrant une partie importante de l'Ancien Monde, les singes cercopithécidés représentent un rameau diversifié de l'arbre de parenté des primates. Dans la grande famille des singes Cercopithecidae, les colobes d'Afrique et d'Eurasie se singularisent de leur groupe frère, les singes à abajoues (babouins, macaques, etc.), par des adaptations anatomiques en lien avec une consommation importante de feuilles et une locomotion en contexte arboricole. De récentes découvertes paléontologiques entreprises en Afrique orientale et centrale jettent un regard nouveau sur la diversité passée, sur les relations de parenté ainsi que sur l'émergence des caractères anatomiques des colobes.

LE SINGE DU DÉSERT DU DJOURAB

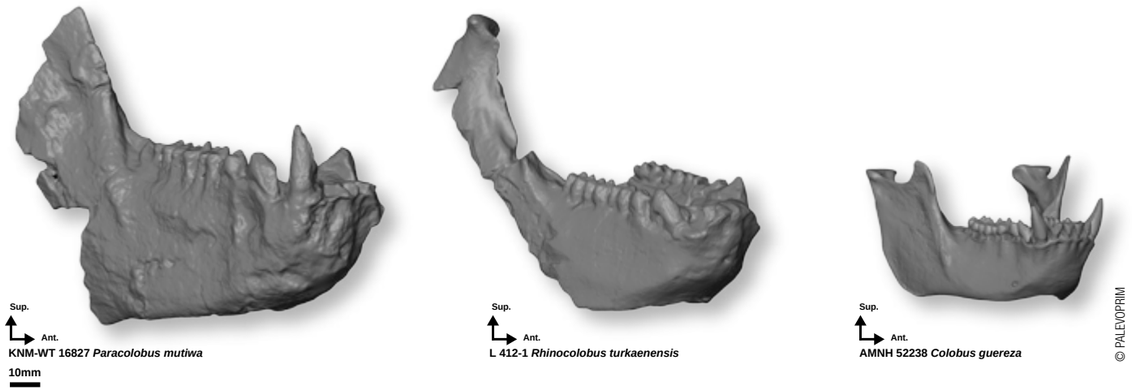
C'est à 1000 km à l'ouest de la vallée du Grand Rift africain, au sein du désert du Djourab, dans le bassin nord du Tchad, que les restes fossiles d'un singe de taille moyenne ont été découverts par la Mission Paléoanthropologique Franco-Tchadienne (MPFT). Des os de la face, du bras et de la jambe ainsi que des restes dentaires isolés sont les seuls témoins de la présence d'un colobe au sein de la faune de l'aire fossilifère de Toros-Ménalla. Aujourd'hui étendue désertique, la zone de Toros-Ménalla représentait autrefois les abords luxuriants d'un lac d'une superficie équivalente à la moitié de celle du territoire métropolitain. D'un âge estimé à 7 Ma (millions d'années), le colobe du Djourab (i.e., *Cercopithecoides bruneti*) ouvre une fenêtre sur une période et une région méconnue de l'histoire évolutive de ces animaux.

À l'instar de ses proches parents actuels, le relief présent à la surface des molaires du colobe fossile tchadien trahit un penchant prononcé pour les feuilles. En revanche, la morphologie des os du bras et de l'avant-bras met en évidence des tendances locomotrices terrestres, différentes des tendances arboricoles documentées au sein des colobes actuels.
La morphologie des prémolaires du colobe du Djourab le démarque de ses contemporains fossiles. Elle nous renseigne cependant sur des liens de parenté étroits avec les colobes africains actuels. L'horloge moléculaire, établie sur la base du matériel génétique des colobes actuels, a permis d'estimer la date de divergence des représentants de la lignée africaine aux alentours de 7 Ma. C'est précisément dans cette fenêtre temporelle que s'inscrit l'histoire évolutive de la faune du Djourab. Aux données morphologiques et au contexte chronologique s'ajoutent donc les informations génétiques, confirmant un peu plus l'importance du colobe du désert du Djourab dans la compréhension de l'histoire évolutive des colobes d'Afrique.

Les travaux menés par la MPFT permettent donc de lever le voile sur l'émergence du régime alimentaire caractéristique des colobes ainsi que sur l'anatomie et les relations de parenté d'un des plus anciens représentants fossiles des colobes.

LES EMBLÉMATIQUES SINGES " NOIRS ET BLANCS " D'ABYSSINIE

Les colobes noir et blanc de la rivière de l'Omo et des montagnes de Djaffa (i.e., *Colobus guereza*) sont emblématiques du paysage et de la culture éthiopienne. Néanmoins, l'émergence de ces colobes au sein de la communauté de primates d'Afrique orientale reste peu documentée. C'est dans la partie sud de l'Éthiopie, au cœur de la basse Vallée de l'Omo, dans la formation géologique de Shungura que l'histoire des "noirs et blancs" d'Ethiopie se dévoile au fil de la roche. Avec un enregistrement sédimentaire continue couvrant une période comprise entre 3,6 Ma et 1 Ma, la formation de Shungura se révèle être un portail temporel de choix dans l'étude des faunes passées d'Afrique orientale. C'est à une équipe internationale et interdisciplinaire de chercheurs pilotée par PALEVOPRIM, l'Omo Group Research Expedition, qu'incombe la tâche de reconstruire l'histoire de ces faunes disparues.



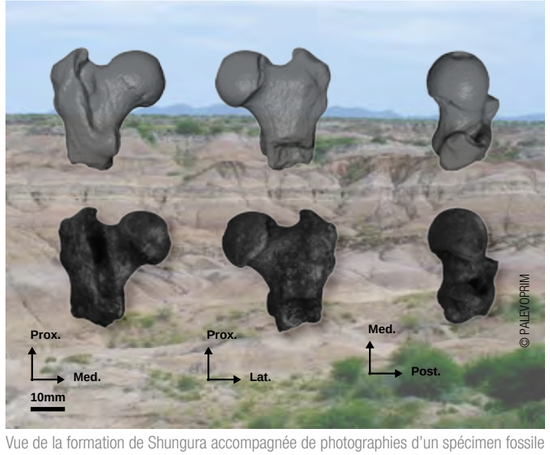
Mandibules de Colobinae de grande taille (à gauche et au centre) de la formation de Shungura en comparaison d'un colobe " noir et blanc " (à droite).

La date de divergence des lignées de colobes "noirs et blancs" d'Éthiopie de celle d'Afrique occidentale est estimée aux alentours d'1.6 Ma. À l'image du colobe du Djourab, les données paléontologiques recoupent ici les données moléculaires. C'est dans les plus récentes strates géologiques de Shungura que des restes de colobes de petite taille ont été exhumés. Des analyses en cours, menées dans le cadre de recherches doctorales, se concentrent sur la morphologie des dents et des os longs de ces petits colobes. Elles permettront à terme de caractériser leur écologie et de préciser leurs relations de parenté avec les "noirs et blancs" actuels d'Ethiopie.

> "... la faible diversité de colobes...
> ne reflète en aucun cas la diversité passée... "

À L'OMBRE DES GÉANTS DE LA BASSE VALLÉE DE L'OMO

À la première lueur du jour, seuls les hurlements des "noirs et blancs" viennent perturber la quiétude des forêts riveraines de la rivière Omo dans la partie sud de l'Éthiopie moderne. Néanmoins, la faible diversité de colobes présent actuellement en Éthiopie ne reflète en aucun cas la diversité passée et c'est un portrait plus singulier que dépeignent les recherches effectuées sur les faunes disparues de la basse Vallée de l'Omo.



Vue de la formation de Shungura accompagnée de photographies d'un spécimen fossile de colobe de petite taille du membre géologique L de Shungura.

Aujourd'hui caractérisée par un poids excédant rarement les 13 kgs et des dimensions linéaires avoisinant 1 mètre 30 de la tête à la queue, la faune moderne de colobes africains se singularise de ses représentants fossiles. Des restes de colobes géants ont été découverts en Afrique orientale, notamment au sein de formations fossilifères kenyane et éthiopienne. Les restes mis au jour dans la formation de Shungura ont permis la description de deux genres de colobes fossiles de grande taille. Avec des poids estimés allant jusqu'à 40 kgs, l'écologie de ces singes fossiles intrigue.

Les études en cours au laboratoire PALEVOPRIM se focalisent sur l'anatomie des membres antérieurs et postérieurs de ces colobes géants afin d'élucider les modes de locomotion employés par ces derniers. La coexistence de deux formes de grande taille dans des intervalles de temps partagés met aussi en perspective le partage écologique de ces formes fossiles. Enfin, une raréfaction de ces grands colobes est observée au sein des membres géologiques les plus récents de la formation de Shungura. Les causes écologiques et environnementales de ce déclin restent à être investiguées.

Des dunes du désert du Djourab aux étendues désertiques de la basse Vallée de l'Omo, les paléoprimatologues de PALEVOPRIM n'ont eu de cesse de retracer l'histoire évolutive des singes d'Afrique. La caractérisation de la dynamique écologique des singes cercopithécidés actuels face au changement climatique est un enjeu fondamental de ce début de siècle. En documentant une période de détérioration climatique importante au cours des 2,5 derniers millions d'années, la formation de Shungura offre un banc d'essai de premier plan dans l'étude de la réponse des faunes aux fluctuations climatiques, nous éclairant ainsi sur la résolution des questions futures.

Laurent PALLAS < PALEVOPRIM
laurent.pallas01@univ-poitiers.fr
Guillaume DAVER < PALEVOPRIM
guillaume.daver@univ-poitiers.fr
Franck GUY < PALEVOPRIM
franck.guy@univ-poitiers.fr
Jean-Renaud BOISSERIE < PALEVOPRIM
jean.renaud.boisserie@univ-poitiers.fr
http://palevoprim.labo.univ-poitiers.fr/

Une solution *Made in Touraine* pour la valorisation collective des biodéchets

À Tours, l'Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte a mis en place une démarche de recherche-action originale qui a abouti au déploiement d'une méthode de compostage innovante.

Le compostage réduit d'environ 25% le volume des ordures ménagères, en détournant les biodéchets (déchets biodégradables de jardin, déchets alimentaires ou de cuisine…) du flux d'ordures ménagères résiduelles (OMR). Si on y ajoute les papiers, les cartons, les textiles sanitaires biodégradables et les déjections animales, le potentiel de valorisation organique de nos OMR s'élèverait à 63%, selon l'ADEME*. Un levier majeur existe donc pour réduire drastiquement la production annuelle régionale d'OMR, qui atteignait 564 484 tonnes de déchets en 2015, soit une moyenne de 218 kg par habitant et par an. Dans ce contexte, le développement du compostage de proximité constitue une mesure phare du Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) qui vient d'être adopté par la Région Centre-Val de Loire.

LES ATOUTS DU COMPOSTAGE PARTAGÉ

Composter constitue également une solution d'atténuation du changement climatique et d'amélioration de la structure des sols, en contribuant au retour au sol progressif d'une partie du carbone contenu dans les biodéchets. Le compost forme un amendement naturel capable d'absorber plusieurs fois son propre poids en eau. Il est donc utile à la levée des semis et au développement des plantes. Son utilisation évite la consommation d'énergie et l'utilisation d'engrais chimiques. En pied d'immeuble ou en établissement, le compostage partagé est aussi un riche support d'activités intergénérationnelles. Il est propice à la création de liens sociaux, à la production d'idées positives et à l'éducation du grand public aux sciences environnementales.

Malgré ses atouts, sa pratique peine à se massifier à l'échelle régionale. Elle se heurte encore à plusieurs obstacles d'ordres technique, économique, social ou politique, comme l'a révélé une table-ronde organisée par l'IUT de Tours et l'IRBI (Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte, UMR 7261 CNRS/Université de Tours) en 2017. Un ensemble d'acteurs locaux (citoyens, militants associatifs, élus et techniciens de collectivités, représentants des services de l'état, maîtres-composteurs) ont ainsi fait part de leurs retours d'expérience et de leurs interrogations. L'IRBI a donc complété la problématisation de ce sujet par une revue de la littérature scientifique et technique disponible afin d'élaborer un programme de recherche-action ayant pour objectif de résoudre les principales difficultés s'opposant actuellement au développement du compostage partagé en Centre Val de Loire.

"... une démarche bioinspirée qui vise à copier la nature..."

UNE RECHERCHE-ACTION ORIGINALE

Ce programme a d'ores et déjà permis d'agir à plusieurs niveaux. Par exemple, pour répondre au déficit régional en offres de formation au compostage, l'IRBI a mis en place une formation pour les professeurs d'écoles et de collèges, avec la Maison Pour la Science Centre-Val de Loire. Il est également partenaire de formations de "référents de site" et de "guides-composteurs" conformes au référentiel GPROX de l'ADEME, créées par l'IUT de Tours. Plusieurs dizaines de personnes ont déjà bénéficié de ces formations depuis deux ans. L'IRBI et ses partenaires sont également intervenus au niveau de l'élaboration du PRPGD et de la COP régionale en faveur du climat et de la transition énergétique, afin que le compostage partagé bénéficie d'un fort soutien institutionnel.

Une dizaine de composteurs partagés expérimentaux de type Compostou ont été déployés en Indre-et-Loire, dans le cadre d'un programme de recherche-action, comme ici à Reugny (37).

Constatant que la majorité des problèmes techniques connus étaient intrinsèquement liés au compostage "chaud", basé sur l'activité microbienne, des membres de l'IRBI, de l'IUT de Tours, du Centre d'Expertise et de Transfert Universitaire Innophyt et de la coopérative ARTEFACTS ont également inventé un nouveau modèle de composteur (Compostou©) et créé une méthode de compostage originale "à froid". Pour cette double innovation, ils ont opté pour une démarche bioinspirée qui vise à copier la nature pour créer des inventions durables dans l'ensemble de leur cycle de vie. Leur source d'inspiration a été le fonctionnement d'une litière forestière contenant des microbes ainsi qu'une grande diversité d'insectes et autres invertébrés détritivores.

Le fonctionnement de la litière forestière a directement inspiré celui du Compostou, premier composteur partagé exclusivement conçu pour décomposer "à froid" des couches minces de biodéchets.

De nombreux invertébrés, dont les cloportes, jouent un rôle primordial dans la décomposition de la matière organique.

Cette communauté est capable de décomposer très efficacement et à moins de 40°C, des quantités importantes de matière organique. Il s'agit du premier composteur partagé conçu spécifiquement pour le compostage de basse énergie, ou "froid". Il fait l'objet d'une requête en délivrance de brevet d'invention déposée auprès de l'INPI (Institut national de la propriété industrielle), dans le but de créer un monopole communautaire non capitaliste sur ce nouveau type de bien commun.

Les développements techniques et commerciaux du projet ont été confiés à l'association Zéro Déchet Touraine, dont sont membres les quatre co-inventeurs du Compostou. La fabrication des premiers exemplaires, réalisés en planches de palettes recyclées, a été confiée à l'atelier menuiserie d'Entraide et Solidarités, une association de lutte contre les exclusions. Grâce au soutien financier de plusieurs partenaires (Région Centre-Val de Loire, ADEME, Touraine Propre, IUT de Tours, IRBI, association APNE), une dizaine de Compostous expérimentaux a été mise en service en Indre-et-Loire et va pouvoir bénéficier d'un suivi scientifique et ergonomique pendant deux ans. L'objectif est de prouver l'efficacité et l'innocuité de l'appareil dans des conditions réelles d'utilisation, en vérifiant la conformité du compost produit à la norme française NF U-44051.

Les premiers résultats obtenus, après 18 mois d'utilisation, sont très positifs. Quinze autres Compostous ont été installés, à la demande de structures diverses (écoles, collèges, entreprises, associations, comités de quartiers, communes, syndicat intercommunal). Afin qu'il puisse pleinement remplir son rôle communautaire, le Compostou n'est pas à vendre. Il est proposé, par l'association Zéro Déchet Touraine, dans le cadre d'une formule de mise à disposition annuelle avec un service d'accompagnement et de maintenance, qui a déjà permis de créer un emploi non délocalisable.

VERS UNE SCIENCE DU COMPOSTAGE ?

Ce programme de recherche-action comporte également un volet scientifique qui explore plusieurs pistes fondamentales et appliquées. Un premier point est de décrire la communauté des arthropodes décomposeurs et de comprendre les interactions fonctionnelles durables (notamment symbiotiques) qui s'établissent au sein d'un composteur froid. En parallèle un travail est mené sur l'optimisation technique du compostage à basse énergie. Enfin, plusieurs pistes d'innovations potentiellement brevetables sont suivies afin d'exploiter le potentiel de valorisation scientifique et industrielle du sujet étudié. Ces travaux associent une équipe de recherche de l'IRBI, des enseignants-chercheurs de l'IUT de Tours et le Centre d'Expertise et de Transfert Universitaire Innophyt, toujours en étroite collaboration avec l'association Zéro Déchet Touraine. Une première action concrète a été de créer le Composcope, sur la commune rurale de Nouâtre (37), espace dédié à la formation, à la recherche et au perfectionnement de différentes techniques de compostage.

Sébastien MOREAU < IRBI
sebastien.moreau@univ-tours.fr

Maxime CORNILLON < INNOPHYT
maxime.cornillon@univ-tours.fr

David VIOLLEAU < IUT DE TOURS
david.violleau@univ-tours.fr

https://irbi.univ-tours.fr/

https://compostou.org

* Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

1 année de plus

Depuis plusieurs années, l'Observatoire Pelagis (UMS 3462 Université de la Rochelle/CNRS) en charge de la conservation de la mégafaune marine à La Rochelle, constate une augmentation des échouages de dauphins communs sur les côtes atlantiques françaises.

Plus de 50% des individus échoués portent des traces de captures accidentelles, indiquant que des pratiques de pêche exercées dans le golfe de Gascogne sont très certainement en cause.

La préservation des mammifères marins est un défi majeur de conservation de la biodiversité marine.

25
espèces recensées

50
années de suivis

© Observatoire PELAGIS

25 000
échouages
≈ 1000 cas par an
dans le Golfe de Gascogne

Si les chaluts pélagiques ont été un temps pointés du doigt, les données acquises ces dernières années bouleversent les certitudes et indiquent que plusieurs autres métiers sont sans doute en cause.

© Observatoire Pelagis

Photo pleine page © PIR.HEMERY

ABONDANCE DES PETITS DAUPHINS

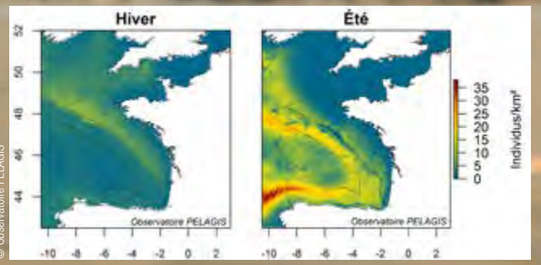
dans le golfe de Gascogne en hiver
(dauphins communs et bleu et blanc)

285 000
INDIVIDUS AU TOTAL

≈ 179 000
sur le plateau

≈ 57 000
sur la pente

≈ 48 000
au large



© Observatoire PELAGIS

L'abondance et la distribution des populations sont évaluées lors de campagne de recensement en avion et en bateau.

400
intervenants du Réseau National Échouage (RNE)

© Observatoire PELAGIS

ÉCHOUAGES HIVER 2019

1200
échouages de petits cétacés depuis le 1er janvier

93%
dauphins communs

90%
examinés par le RNE

85%
présentent des traces de capture accidentelle

LE SUIVI DES ÉCHOUAGES

- un réseau de sciences participatives encadré
- un protocole commun
- une série de données et de prélèvements d'importance européenne

Florence CAURANT < PELAGIS
florence.caurant@univ-lr.fr
Cécile DARS < PELAGIS
cecile.dars@univ-lr.fr
www.observatoire-pelagis.cnrs.fr

Le trésor caché de Saint-Marc

Influencé par les guides touristiques, le visiteur de la Basilique Saint-Marc se précipite vers la Pala d'Oro. Ainsi, il ne prête que peu d'attention au ciborium à quatre colonnes, pourtant un extraordinaire témoignage de la rencontre entre l'Orient et l'Occident, l'Antiquité et le Moyen Âge, mais aussi l'écriture et l'image.

Vue du Canal Grande de Venise depuis le Pont de l'Académie et de la basilique Santa Maria della Salute en arrière plan.

© Maria AIMÉ VILLANO

En pénétrant dans l'église, alors que les yeux s'habituent à l'obscurité, apparaissent au-dessus des visiteurs les fameuses mosaïques des XII^e^, XIII^e^ et XVI^e^ siècles. À leurs pieds s'étend un tapis brodé de pierres, dont la débauche de couleurs les guide vers l'autel majeur. Le touriste pressé n'imagine pas ce qu'il perd : devant lui se trouvent quatre colonnes en marbre, entièrement sculptées. Elles montrent presque quatre-vingts scènes de la vie de la Vierge et du Christ, ponctuées d'inscriptions en latin. Cette œuvre d'art est exceptionnelle, non seulement par sa richesse iconographique quasi-unique mais aussi par la délicatesse du travail d'orfèvre.

POURQUOI UN CIBORIUM ?

Le ciborium protège et met en valeur un autel, un reliquaire ou l'armoire conservant le ciboire. Généralement sous la forme d'un dais posé sur quatre colonnes, il peut être en bois, en métal, en pierre.

> "... l'endroit le plus sacré de l'église et le plus prestigieux de la ville ..."

À Saint-Marc, celui-ci se trouve au chevet de la basilique, au-dessus de l'autel majeur surélevé de quelques marches, lequel est positionné sur la tombe de l'évangéliste Marc dont les reliques ont été dérobées, selon la légende, par deux vénitiens dans l'Alexandrie musulmane, en 828. À cette époque, la cité lacustre, qui ne disposait pas d'une illustre légende fondatrice, avait besoin de reliques prestigieuses capables de donner le lustre et la gloire à son pouvoir commercial et politique croissant. N'oublions pas que la basilique de Saint-Marc était la chapelle du Palais des Doges (et non pas la cathédrale !), c'est-à-dire une église qui représentait aussi le pouvoir temporel. Le ciborium signale donc, conjointement, l'endroit le plus sacré de l'église et le plus prestigieux de la ville. En effet, l'ensemble du ciborium est un objet précieux, avec ses colonnes sculptées où se trouvent les scènes inspirées par les évangiles (canoniques et apocryphes), séparées horizontalement par des tituli, des rubans d'inscriptions latines nommant les scènes représentées. Sur les colonnes reposent d'élégants chapiteaux probablement réalisés pendant le XIII^e^ siècle sur le modèle des chapiteaux romains antiques. L'ensemble est couronné par un dais formé par une croisée d'ogives avec une clef de voûte ornée de l'Agneau divin. Enfin, sur les angles du toit se trouvent quatre sculptures qui représentent les évangélistes écrivant, tandis que le Christ bénissant est représenté sur la partie médiane. Celles-ci datent du XIII^e^ siècle, et sont complétées par la représentation de la Résurrection réalisée dans les années 1500.

UNE DISPUTE LONGUE DE QUATRE SIÈCLES

Dès la première mention des colonnes en 1581 par Francesco Sansovino*, l'œuvre a soulevé deux problématiques, celles de sa datation et de son origine. En l'absence de fonds documentaires substantiels, de nombreuses hypothèses ont été proposées : provenance régionale (Venise, Ravenne) ou proche-orientale (Constantinople, Syrie, Palestine), et de datation variable (VI^e^, XI^e^ ou XIII^e^ siècle). Depuis la seconde moitié du XX^e^ siècle, deux courants scientifiques s'opposent : les partisans d'une datation haute (entre le V^e^ et le VI^e^ siècle) avec une origine constantinopolitaine, et de l'autre les défenseurs d'une production vénitienne du XIII^e^ siècle. Cependant, l'intérêt de ces quatre supports de marbre ne se restreint pas à ces deux interrogations. L'intérêt réside surtout dans la compréhension du rapport des images et des tituli, de la relation de l'œuvre à l'espace qui l'entoure, dans le message transmis simultanément par l'iconographie et l'épigraphie, ou encore par l'objectif du ou des commanditaires.

© Luca PILOT

Vue générale du ciborium.

SCÈNES ET INSCRIPTIONS SONT-ELLES CONTEMPORAINES ?

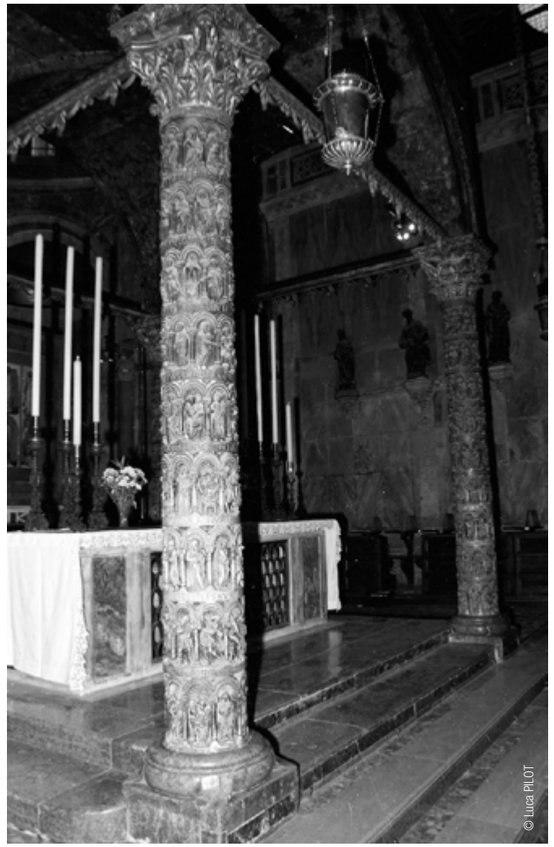
Les inscriptions gravées sur chaque ruban sont plutôt brèves et séparées par trois petits points verticaux. La forme des lettres, leur disposition dans l'espace, la ponctuation et les caractéristiques linguistiques du latin employé laissent supposer une réalisation entre la fin du XII^e^ et le début du XIII^e^ siècle. Si ces faits influent sur la datation de l'épigraphie, ils sont insuffisants pour établir une chronologie de la sculpture. En effet, l'absence de correspondance entre certaines images et leurs tituli amènent à penser que le concepteur des inscriptions n'était pas le sculpteur de l'œuvre. Certes, rien de bien surprenant au Moyen Âge. Au-delà de ce fait, l'inadéquation de certains textes avec l'image sous-entend une mécompréhension de celle-ci, et peut-être par conséquent un laps de temps étendu entre la réalisation des images sculptées et l'adjonction d'inscriptions. Par contre, ce fait donnerait d'importants indices sur la mentalité médiévale et l'usage des inscriptions en contexte liturgique et sacré.

DES IMAGES D'UNE EXCEPTIONNELLE RARETÉ

Un grand nombre de scènes présentent une iconographie remarquable. Parmi celles-ci, l'histoire de Joachim attire l'attention des chercheurs. La légende présente Joachim comme un homme riche et pieux, faisant régulièrement des dons et des offrandes. Or, lui et son épouse Anne sont infertiles. Un jour, le Grand Prêtre du Temple refuse l'offrande au motif que cette stérilité est signe de malédiction. Dévasté et honteux, Joachim consulte le Livre des Douze Tribus, contenant les généalogies des Israéliens. Il y découvre qu'il est le seul à ne pas avoir procréé. Cet instant est précisément figuré sur la colonne du ciborium, identifié grâce à la comparaison avec les sources littéraires où l'on retrouve la séquence à laquelle il appartient. Cette représentation de l'histoire est donc l'unique connue à ce jour en Occident. Seules deux églises rupestres du IX^e^ ou du X^e^ siècle, en Cappadoce (Turquie centrale), s'ornent de cet épisode bien particulier, inspiré d'un évangile apocryphe méconnu en Occident, le Protévangile de Jacques, comme semble le confirmer l'absence de titulus pour cette scène. Comment un vénitien du XIII^e^ siècle pouvait-il connaître un épisode si peu répandu dans les sources littéraires et dans les œuvres d'art ? Le mystère est en cours d'analyse…

LA RENCONTRE DES MONDES

À la lueur des recherches récentes et encore en cours, les analyses scientifiques suggèrent une œuvre sculptée durant l'Antiquité tardive, en Orient, et emportée à Venise durant le Moyen Âge où elle aurait reçu les inscriptions. Rien d'étonnant si on pense à la grande quantité d'œuvres d'art provenant de tout le bassin méditerranéen, qui se trouvent à Saint-Marc et dans d'autres lieux de la ville. Cependant, si l'hypothèse d'une importation des colonnes se confirmait, elles seraient alors l'exemple extraordinaire des liens entre l'Orient et l'Occident, et entre l'Antiquité tardive et le Moyen Âge. Elles offriraient un regard unique sur la rencontre de deux mondes et de deux âges, distants mais si intimement liés.



© Luca PILOT

Vue générale des colonnes sculptées retraçant les histoires de la jeunesse de Jésus (à gauche) et la Passion de Jésus (à droite).

Maria AIMÉ VILLANO < CESCM
maria.aime.villano@univ-poitiers.fr
http://cescm.labo.univ-poitiers.fr

* Écrivain, scientifique, poète, historien.

Réfractaires, une innovation brûlante

Four rotatif.

Derrière nos besoins de consommation se cache une longue chaîne d'acteurs industriels dont on entend rarement parler. Pourtant, sans certains d'entre eux notre environnement serait encore plus pollué. Deux secteurs industriels sont peu connus du public : celui des matériaux réfractaires et celui de l'incinération de déchets dangereux.

Les produits réfractaires sont des matériaux céramiques qui résistent aux très hautes températures, au-delà de 1500°C. Toutes les industries qui mettent en œuvre des procédés à haute température utilisent des matériaux réfractaires dans leurs fours industriels. Sans réfractaires, la production d'acier, de ciment, de verre, de céramiques ou encore d'aluminium serait impossible. La société BONY est un fabricant français de briques réfractaires depuis 1862 à Saint-Étienne destinées aux secteurs classiques de la verrerie et de la sidérurgie, mais aussi aux acteurs plutôt récents, comme les incinérateurs de déchets dangereux. Les déchets dangereux sont tous les déchets représentant un danger pour l'environnement et la santé : des déchets hospitaliers, des pesticides ou des agents chimiques… Leur mise en décharge présente le risque de polluer les sols, voire d'infiltrer la nappe phréatique. Le traitement par l'incinération présente deux avantages : la décomposition des substances toxiques, notamment organiques, et une forte réduction du volume des déchets. La société SARPI-VEOLIA est le leader européen du traitement des déchets dangereux. Sa principale technologie est le four rotatif, de forme cylindrique (L=8 à 18 m, D=3 à 5 m) légèrement incliné qui tourne autour de son propre axe pour homogénéiser les différents types de déchets.

Tous les uns à deux ans, une partie ou l'ensemble du garnissage réfractaire doit être remplacé, son épaisseur résiduelle n'étant plus que de quelques centimètres. Cette opération a des coûts importants pour SARPI-VEOLIA : 18% de son budget de maintenance est dédié à l'achat et l'installation des réfractaires. À cela s'ajoute le problème environnemental lié de certains réfractaires utilisés à base d'oxyde de chrome, susceptibles de former des composants de chrome hexavalent Cr (VI) toxiques pour la santé.

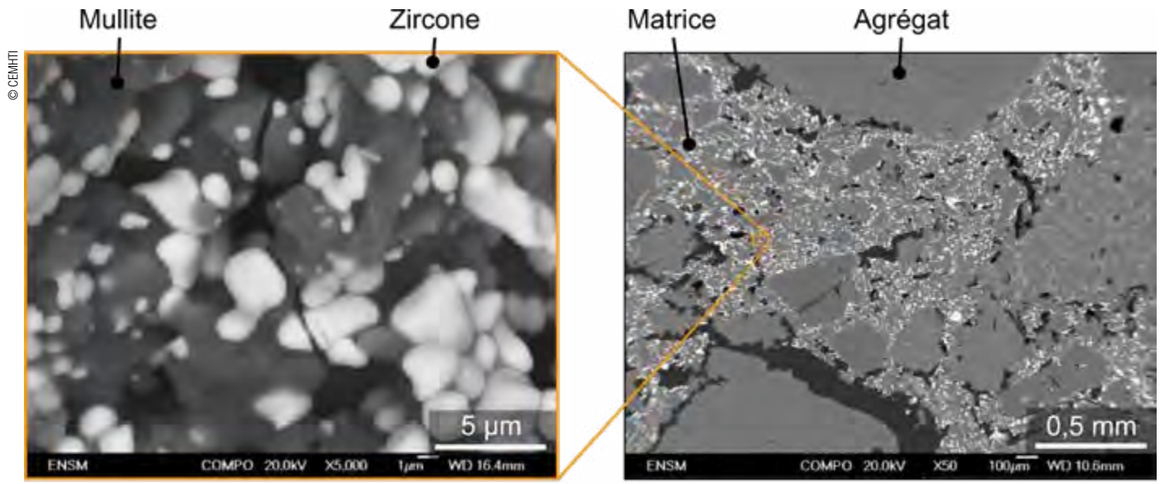
COMPRENDRE LE MÉCANISME DE DÉGRADATION

Afin de répondre à ces problématiques industrielles, une thèse Cifre a été initiée en 2014 avec l'École des Mines de Saint-Etienne. Il s'agissait de mieux comprendre les mécanismes de dégradation et de trouver une solution viable à la fois sur les deux aspects technico-économique et environnemental. Les sociétés BONY, SARPI-VEOLIA et le CEMHTI à Orléans (UPR 3079 CNRS) spécialisé dans les céramiques à haute température et le centre SMS de l'École des Mines de Saint-Etienne, reconnu pour sa compétence dans le domaine du frittage des céramiques ont collaboré à ce projet.

"... plus perfomant...plus économique... plus innovant..."

À la manière d'un médecin légiste, une autopsie de réfractaires usagés a mis en corrélation les symptômes des dégradations (fissures, infiltration, changements de minéralogie) avec les sollicitations (température, chocs thermiques, atmosphère et cendres) des briques en service.

Cette expertise a montré que les cendres fondues infiltrent la brique à travers des pores ouverts. Mais il s'agit d'un phénomène d'infiltration purement physique : aucune attaque thermochimique n'a été mise en évidence. Pour faire simple, la dégradation des briques s'explique par la fissuration et des pertes successives des fines couches infiltrées.



Microstructure de la matrice mullite-zircone et de la brique à liaison mullite-zircone.

Comprendre ce mécanisme de dégradation appelé "écaillage structurel" a permis aux partenaires du projet de mettre au point et d'élaborer deux nouveaux matériaux pour l'incinération. Le premier matériau est à la fois plus performant et plus économique. Le deuxième, plus innovant, est conçu pour les zones du four fortement sollicitées par les chocs thermiques. Le point clé pour résister aux chocs thermiques était de fritter (chauffer) les agrégats du matériau par une matrice composée de mullite et zircone obtenue par transformation de l'andalousite et du zircon. Cette céramique composite a une ténacité élevée. L'élaboration sophistiquée de cette matrice et ses caractéristiques prometteuses ont conduit au dépôt d'un brevet impliquant l'ensemble des partenaires. Les essais industriels ont confirmé une durée de vie nettement prolongée par rapport aux briques de bauxite ou de corindon-oxyde de chrome classiquement utilisées. La société BONY a pu en promouvoir l'utilisation auprès de tous les sites d'incinération du groupe SARPI-VEOLIA, contribuant ainsi à une augmentation significative du chiffre d'affaires.

BIENTÔT UN USAGE GÉNÉRALISÉ

Cinq ans après le lancement du projet, onze fours sur quatorze de SARPI-VEOLIA utilisent ces réfractaires fabriqués par BONY, non seulement en France mais aussi en Espagne, en Pologne et en Hongrie. De nouveaux débouchés à l'étranger, hors Europe, sont en cours de finalisation : à Singapour, un nouveau four rotatif d'incinération a été garni entièrement avec ces nouveaux réfractaires. D'autres projets en Chine, à Hong-Kong, en Corée, en Allemagne, en Angleterre et aux Etats-Unis sont programmés.

Ce projet de R&D a aussi été bénéfique pour SARPI-VEOLIA qui a réduit ses coûts de maintenance des fours. Plus précisément, la durée de vie des garnissages réfractaires des fours a augmenté de 14 à 21 mois en moyenne. À cela s'ajoute l'avantage économique par rapport aux briques onéreuses du type corindon-oxyde de chrome. 1 M€ d'économies a ainsi été réalisé en 2018 sur le périmètre SARPI-VEOLIA.

Le bilan positif de la collaboration entre industriels et laboratoires publics a encouragé la direction de BONY à poursuivre ce succès. Une nouvelle recherche sous la forme d'une thèse Cifre, concernant un autre secteur d'activité est actuellement initiée et une collaboration de recherche est engagée entre la Société BONY, le CEMHTI et l'École des Mines de Saint-Étienne.

Jacques POIRIER < CEMHTI
jacques.poirier@univ-orleans.fr

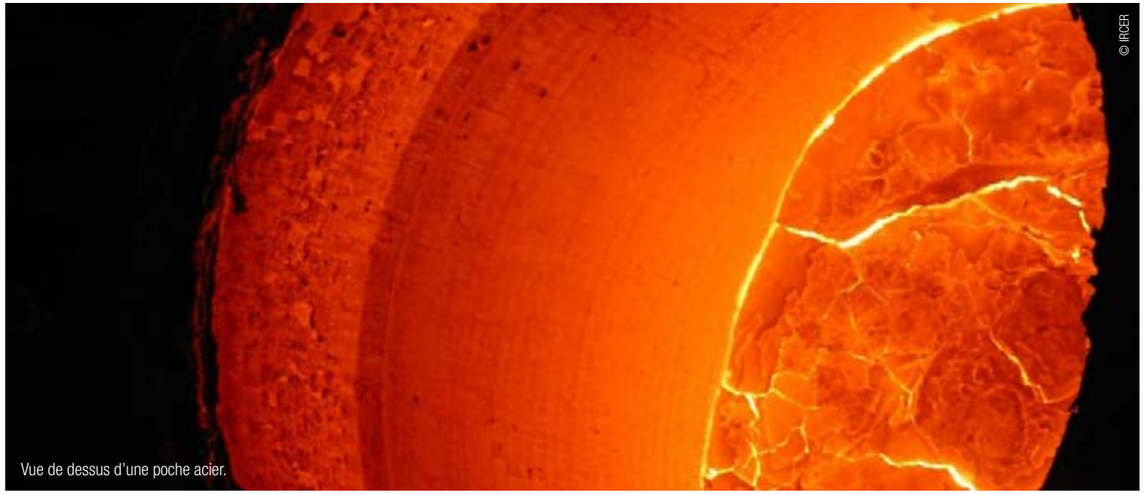
Adrian VILLALBA WEINBERG < BONY
a.villalba-weinberg@bony-sa.fr

Xavier CHAUCHERIE < SARPI VEOLIA
xchaucherie@sarpindustries.fr

http://www.bony-sa.com/

https://www.sarpi.veolia.com/fr

http://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/



Vue de dessus d'une poche acier.

Les céramiques réfractaires, par leur résistance aux très hautes températures, sont des matériaux qui jouent un rôle essentiel comme revêtements intérieurs de systèmes industriels, par exemple pour la production d'acier ou de verre. Ils permettent le confinement de la chaleur (de 600°C à plus de 2000°C), au cœur même de la majorité de beaucoup processus de transformation de la matière.

Sans ces matériaux de grande diffusion, notre vie quotidienne serait beaucoup moins agréable : pas d'acier, d'aluminium, de ciment, ni même de verre. L'importance économique et stratégique de ces céramiques réfractaires est considérable. Leur choix est dicté par leurs conditions d'utilisation : hautes températures, corrosion chimique et dégradations thermomécaniques.

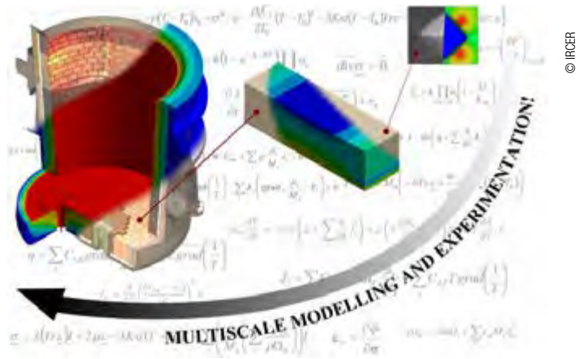
UNE COMPLEXITE SANS CESSE RENOUVELÉE

Pour optimiser leur durée vie dans ces environnements sévères, les matériaux réfractaires sont généralement constitués d'assemblages complexes de constituants aux intérêts complémentaires. La science des matériaux a vocation à affiner ces processus d'optimisation. A titre d'illustration, les réfractaires électrofondus à haute teneur en Zircone, destinés à l'industrie verrière, ont connu un essor important au cours de ces 30 dernières années.

"... développer des modèles numériques robustes..."

LES LEADERS MONDIAUX EN EUROPE

Dans le sillage de la révolution industrielle, les leaders mondiaux du marché des matériaux réfractaires ont aujourd'hui leur siège social et leurs principaux centres de recherche en Europe : ALMATIS-Francfort, ALTEO-Gardanne, RHI-MAGNESITA-Vienne, VESUVIUS-Londres, IMERYS-Paris, CALDERYS-Paris, St-GOBAIN-Paris, ELKEM-Oslo. L'Europe occupe ainsi une position de leader dans l'ingénierie des matériaux réfractaires.



Au cœur de l'aciérie, avec 1/4 de la consommation de réfractaires en sidérurgie, la poche acier constitue le thème central d'investigations pour le programme Européen ATHOR.

LA FORCE DES RÉSEAUX INTERNATIONAUX

Dans ce contexte, l'Institut de Recherche sur les CERamiques (IRCER) à Limoges a été membre fondateur, en 2007, du réseau international FIRE (Federation for International Refractory Research and Education). Structuré en réseau mondial d'universités et de partenaires industriels, la mission de FIRE est de renforcer l'expertise de tous les secteurs de l'industrie réfractaire (fournisseurs de matières premières, producteurs de matériaux, utilisateurs finaux).
FIRE s'efforce ainsi de mettre sur pieds des programmes de formation et de recherche internationaux pertinents. Dans cette logique, le laboratoire IRCER a obtenu en 2017 le financement, en coordination, de l'ambitieux programme européen ATHOR impliquant 15 doctorants, tous recrutés à l'international. De nombreuses sessions de formations interdisciplinaires et des workshops, organisés un peu partout en Europe, sont au cœur de ce réseau doctoral de haut niveau. Les 15 jeunes chercheurs recrutés au sein d'ATHOR échangent ainsi régulièrement avec de multiples professionnels du secteur industriel ou académiques. Une nouvelle attractivité pour une industrie réfractaire souvent peu visible du grand public se met ainsi en place.

L'INGENIERIE A L'AUBE DE L'INDUSTRIE 4.0

Dans le contexte d'une migration progressive vers l'industrie 4.0, l'objectif d'ATHOR est que ses doctorants puissent développer et s'approprier de nouvelles techniques expérimentales et des approches innovantes de modélisation. Le projet couvre tous les aspects du comportement thermomécanique des réfractaires, depuis l'échelle micrométrique de la microstructure des matériaux jusqu'à l'échelle de la dizaine de mètres des outils industriels utilisés en sidérurgie.

Les 15 doctorants recrutés au sein du programme européen ATHOR tirent parti des outils numériques les plus sophistiqués pour modéliser, concevoir et prévoir la durée de vie de différentes configurations de revêtement dans des conditions opérationnelles critiques. Formés à des compétences scientifiques, techniques et générales, ces doctorants constituent la prochaine génération de scientifiques et d'ingénieurs hautement qualifiés pour le secteur des réfractaires et des domaines connexes.

IRCER : A LA POINTE DE LA THERMOMECANIQUE

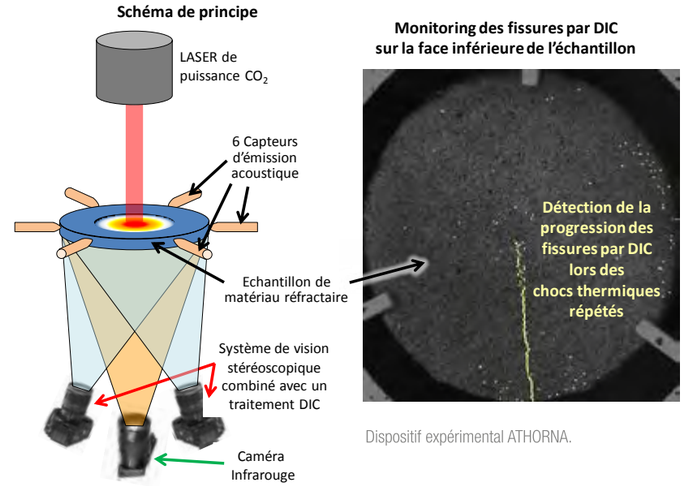
Avec l'essor des céramiques techniques, les activités de recherche à Limoges, aujourd'hui au sein de l'IRCER s'intéressent à la caractérisation des propriétés mécaniques à haute température de ces matériaux. L'objectif des études est double :

- obtenir expérimentalement les paramètres descriptifs du comportement de ces matériaux soumis à des sollicitations mécaniques et thermiques correspondant aux sollicitations en service;
- établir des corrélations avec les paramètres physico-chimiques des matériaux, en utilisant des approches de modélisation (modèles analytiques, calculs par éléments finis et plus récemment par la méthode des éléments discrets).

Les réfractaires comportent généralement, dans leur microstructure, des microfissures bienfaitrices qui aident le matériau à résister aux chocs thermiques. Avec la DEM (Discreet Element Modeling), méthode numérique de calcul, il devient alors possible de simuler les microfissures au cours de l'élaboration et, notamment, de prédire l'incidence du choix des matières premières sur ce réseau de microfissures volontairement recherché. L'objectif final de ces travaux de recherche innovants est de développer des modèles numériques robustes capables d'aider au design des microstructures les plus efficientes.

DES MATERIAUX SOUS MONITORING

De façon connexe au programme ATHOR, ATHORNA (Advanced measurements for in-situ THermo-mechanical monitORing of large sample uNder thermal gradient) est un montage expérimental actuellement en cours de développement au laboratoire. Partiellement financé par la Région Nouvelle Aquitaine, ATHORNA s'appuie sur des mesures très innovantes pour suivre *in situ* le comportement thermomécanique d'échantillons soumis à des gradients thermiques cycliques. Le centre de la face avant d'un disque échantillon de matériau réfractaire est chauffé de façon cyclique par un laser CO_2 entre l'ambiante et 2000°C. La face arrière est monitorée par une caméra infrarouge (pour le suivi temporel précis du champ de température) et par un système triangulé



Dispositif expérimental ATHORNA.

de 2 caméras optiques rapides (pour le suivi temporel précis du champ de déformation en 3D). En outre, l'occurrence d'éventuelles fissures (par choc ou fatigue thermique) dans l'échantillon est détectée par émission acoustique et par traitement spécifique de corrélation sur les images optiques.

Le dispositif ATHORNA permet aujourd'hui de tester des techniques de mesures innovantes pour monitorer de façon précise le comportement d'échantillons centimétriques soumis à des sollicitations thermomécaniques sévères. Ces mesures expérimentales sont confrontées aux calculs prévisionnelles issus de modélisations par éléments finis. Dans le cadre du projet européen ATHOR, cette approche sera très prochainement transposée, à l'Université de Minho au Portugal sur des assemblages de briques à l'échelle métrique. L'étape suivante sera la mise en œuvre sur une poche acier pilote de plusieurs mètres chez TataSteel à Ijmuiden aux Pays-Bas.

ATHOR pour "Advanced THermomechanical multiscale mOdelling of Refractory linings" est un programme européen H2020 Marie Sklodowska-Curie de type Innovative Training Networks (ITN) impliquant 15 doctorants tous recrutés à l'international, avec un financement à hauteur de 3,737 M€ de fonds Européens (H2020 Grant 764987). 7 Universités et 8 industriels sont associés :
- Universités de Limoges et Orléans en France, Cracovie (Pologne), Aachen (Allemagne), Leoben (Autriche), Minho et Coimbra au Portugal ;
- ALTEO (Gardanne, France), St-GOBAIN (Cavaillon, France), SAFRAN (Colombes, France), IMERYS (Villach, Autriche) et RHI-MAGNESITA (Vienne, Autriche), PYROTEK Scandinavia AB (Ed, Suède), TATASTEEL (Ijmuiden, Pays-Bas), FIRE (Montréal, Canada).

Marc HUGER < IRCER
marc.huger@unilim.fr
Damien ANDRE < IRCER
damien.andre@unilim.fr
Glyn DERRICK < IRCER
glyn@derrick.fr

http://www.ircer.fr/
http://fire-refractory.org
www.etn-athor.eu

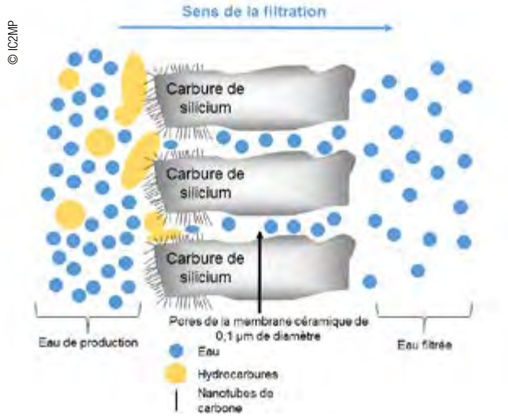
Des tapis de nanotubes de carbone pour les champs pétroliers

De l'eau, beaucoup d'eau sert à l'extraction du pétrole. En gérer la quantité et la qualité est primordiale. Les dispositifs de filtration les plus performants sont essentiels et incontournables.

L'extraction pétrolière est associée de manière méconnue mais inhérente à une production massive d'eau appelée "eau de production". Pour chaque baril de pétrole, ce ne seront en moyenne pas moins de cinq barils d'eau de production qui seront générés. En 2020, le volume mondial d'eau de production extrait est estimé à 48 millions de mètres cubes par jour, soit environ 3 fois plus que la production journalière d'eau potable en France. Cette eau est présente naturellement dans les réservoirs d'hydrocarbure (eau de formation). Mais s'ajoute également l'eau qui a été réinjectée afin de maintenir la pression nécessaire à l'extraction du pétrole, réaliser de la fracturation hydraulique ou encore aider aux activités de forage. Deux choix s'offrent alors comme source pour la réinjection : traiter l'eau de production précédemment extraite pour éviter la dégradation des installations industrielles ou utiliser de l'eau provenant d'autres milieux (rivière, eau de mer) et donc rejeter l'eau de production dans le milieu naturel.

UN TRAITEMENT NÉCESSAIRE

Le stress hydrique de certaines zones d'exploitation ainsi que les enjeux environnementaux croissant donnent une importance considérable au traitement des eaux de production pétrolière. Il devient une étape cruciale pour une gestion durable de l'extraction des hydrocarbures. Ces eaux, de composition complexe, consistent le plus souvent en un mélange émulsionné d'hydrocarbures (également appelés huiles), d'eau, de particules et de sels. Afin d'être réutilisé pour la réinjection ou rejeté dans le milieu naturel, il est donc nécessaire de purifier ces fluides en séparant l'eau et les autres phases dispersées. Pour cela, il existe de nombreuses techniques de traitement séparatives faisant intervenir successivement des méthodes physiques comme la sédimentation,



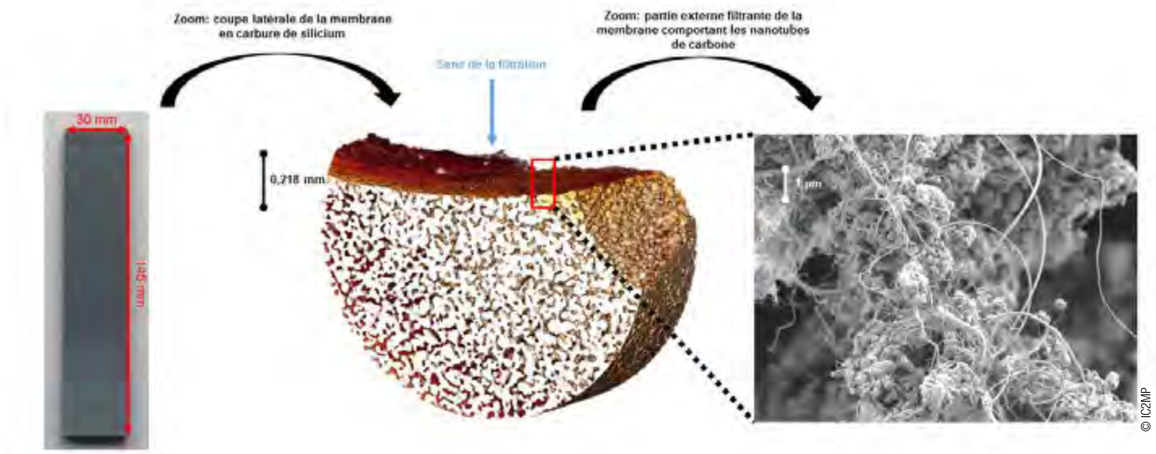
© IC2MP

Principe de la rétention et de la coalescence des gouttes d'huiles lors de la filtration.

© IC2MP

Expérience de filtration sur pilote automatisé.

la flottation ou les procédés membranaires, des méthodes chimiques comme l'adsorption ou coagulation-floculation et des méthodes biologiques. Parmi le large panel de techniques disponibles et existantes, la filtration membranaire est considérée comme la plus prometteuse d'un point de vue de l'intensification des procédés (faible empreinte au sol et volume de rejet limité)... L'eau produite est de qualité constante et excellente pour une réinjection dans les puits, évitant ainsi la problématique de rejet dans l'environnement. Cependant, le développement des procédés membranaires est confronté à une limitation majeure liée à l'accumulation de matière au voisinage des membranes, appelé colmatage. Le colmatage est un phénomène complexe prenant lieu à l'interface liquide/solide. Il est influencé par une multitude de paramètres (conditions de filtration, interactions liquide/solide, etc…). La principale conséquence du colmatage est une diminution de l'efficacité de filtration. Elle se traduit par une hausse des coûts de production liés à une augmentation de l'énergie nécessaire à maintenir le flux de filtration et à une maintenance plus fréquente (à travers le lavage des membranes).



© IC2MP

Aspect de la membrane à différentes échelles.

UN PROCÉDÉ BIOMIMÉTIQUE

L'objectif des travaux menés à l'IC2MP (UMR 7285 CNRS/Université de Poitiers) est de développer des membranes innovantes pouvant répondre aux fortes contraintes relatives à la séparation d'émulsion fines d'huile dans l'eau stabilisées par des tensio-actifs similaires aux eaux de production. L'idée est de synthétiser, par une méthode simple et facilement transposable à grande échelle, des nanotubes de carbones à la surface de membranes céramiques commerciales en alumine ou en carbure de silicium. Depuis leur découverte en 1991 par Sumio Lijima, les nanotubes de carbone ont, de par leurs propriétés, fortement intéressés la communauté scientifique. Ces tubes nanométriques de graphène possèdent de nombreuses caractéristiques géométriques et surfaciques intéressantes. Ils offrent la possibilité, via une fonctionnalisation de leur surface, de générer des membranes aux propriétés diverses (surfaces adsorbantes, hydrophobe/hydrophile, conductrice d'électricité, etc…).

> "... s'inspire des surfaces naturelles... où de la rugosité nanométrique génère des propriétés superhydrophobes... "

L'effet recherché ici est de modifier les interactions entre les membranes et les fluides filtrés en modifiant le caractère hydrophobe et la morphologie du matériau. Une meilleure rétention et coalescence des gouttelettes d'huile au voisinage de la surface de filtration, limite ainsi le colmatage dans la porosité de la membrane. Cet effet s'inspire des surfaces naturelles, telles que la surface des feuilles et est plus connue sous le nom d' "effet lotus", où de la rugosité nanométrique génère des propriétés superhydrophobes.

UNE MÉTHODE FACILEMENT TRANSPOSABLE À PLUS GRANDE ÉCHELLE

La méthode employée à l'IC2MP consiste à disperser des particules métalliques de fer à la surface des membranes céramiques. Elles serviront de catalyseur à la croissance des nanotubes de carbones sous l'effet de la décomposition d'un gaz hydrocarboné (comme l'éthane) à une température comprise en 600 et 800°C. La surface du matériau est alors recouverte d'un tapis de nanotubes de carbone, dont la quantité et la morphologie peuvent être contrôlées à travers la modification des différentes conditions opératoires de synthèse. L'objectif est de relier les propriétés microscopiques du dépôt de nanotubes de carbone (épaisseur, densité, porosité) aux propriétés physique du matériau (hydrophobicité, résistance au colmatage, perméabilité). Il est aussi d'isoler les conditions opératoires de modifications qui permettraient d'avoir les conditions optimales de filtration en réduisant au maximum la fréquence des lavages.

Les premiers résultats montrent une fonctionnalisation effective de la surface des membranes inorganiques par des nanotubes de carbone, avec des rendements de synthèse en carbone allant jusqu'à 7% en masse. Les récents essais de filtration mettent en évidence un colmatage plus lent sur les membranes modifiées suggérant un effet structurant du dépôt colmatant par les nanotubes de carbone. L'objectif est de coupler ce matériau hybride avec d'autres opérations de traitement afin de développer des procédés associant simultanément séparation membrane et réaction chimique. Un couplage avec des procédés d'oxydations tels que l'ozonation permettrait l'élimination de la pollution dissoute (micropolluants, hydrocarbures, etc...).

Alexandre POLI < IC2MP
alexandre.poli@univ-poitiers.fr

Catherine BATIOT-DUPEYRAT < IC2MP
catherine.batiot.dupeyrat@univ-poitiers.fr

Benoit TEYCHENE < IC2MP/ENSIP
benoit.teychene@univ-poitiers.fr

http://ic2mp.labo.univ-poitiers.fr/

Le MXène : un mille-feuille aux multiples talents

De nos jours, les matériaux lamellaires ou matériaux 2D, organisés en feuillets de quelques couches atomiques, aiguisent de plus en plus l'intérêt de la communauté scientifique. L'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers s'est engagé dans la voie originale de la préparation des MXènes, des matériaux 2D aux propriétés riches et variées.

Obtention d'un film de MXène par simple filtration.

L'attention portée sur les matériaux 2D n'est pas récente. Elle demeure une thématique extrêmement dynamique en science des matériaux notamment depuis l'avènement du graphène, dont la découverte a été récompensée par le prix Nobel de physique en 2010. Les matériaux 2D ou de basse dimensionnalité ont un rapport surface/volume bien plus important que leur équivalent tridimensionnel où certains atomes dans le cœur du matériau n'ont aucun rôle à jouer. Dans les matériaux 2D, la plupart des atomes peuvent potentiellement influer sur les propriétés. La quantité de matière à mettre en œuvre dans les applications où ils interviennent est alors limitée, un enjeu environnemental majeur dans nos sociétés modernes. À quantité égale, leurs performances sont supérieures.

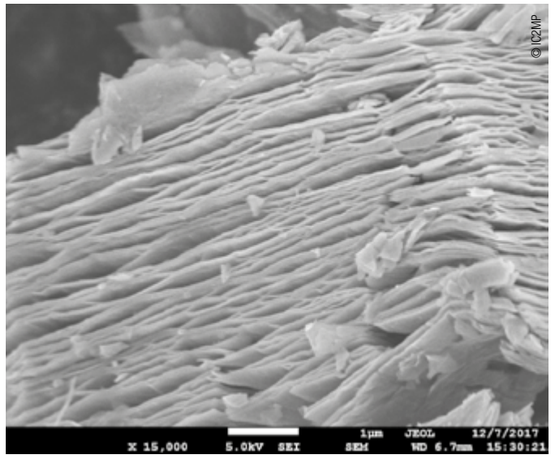
"... d'autant plus intéressants qu'ils sont extrêmement récents..."

UNE CHIMIE VERSATILE

D'une manière générale, la propriété d'un matériau est pilotée par sa composition chimique, c'est-à-dire la nature des atomes du tableau périodique qui le compose. Par conséquent, la possibilité de moduler facilement la composition dans un matériau 2D est un atout considérable pour viser des applications extrêmement variées. Si le graphène est LE matériau 2D par excellence, il est difficile toutefois de faire varier significativement sa composition chimique constituée principalement que de carbone. Ce constat pousse naturellement vers la recherche d'autres composés 2D. C'est dans ce contexte qu'ont été découverts en 2011 les MXènes nommés ainsi d'après leur composition chimique (M : métal de transition et X : atomes de carbone et/ou d'azote, suffixe " ène " : analogie au graphène). En effet, de nombreux MXènes contenant des atomes très différents sont potentiellement synthétisables (différents métaux de transition M). Cette particularité remarquable parmi les matériaux 2D s'explique par le fait que les MXènes sont préparés à partir de solides tridimensionnels appelés phase MAX, qui comprend plus de 70 membres de composition très variée. La versatilité chimique des MXènes se traduit aussi par la présence à la surface des feuillets MX d'autres atomes tels que l'oxygène, l'hydrogène ou le fluor et dont la composition et la quantité peuvent être contrôlées ce qui influe aussi sur les propriétés. Ces nouveaux matériaux sont d'autant plus intéressants qu'ils sont extrêmement récents : ceci laisse le champ libre à de nombreux résultats nouveaux et originaux.

UNE TRÈS LARGE GAMME D'APPLICATIONS POTENTIELLES

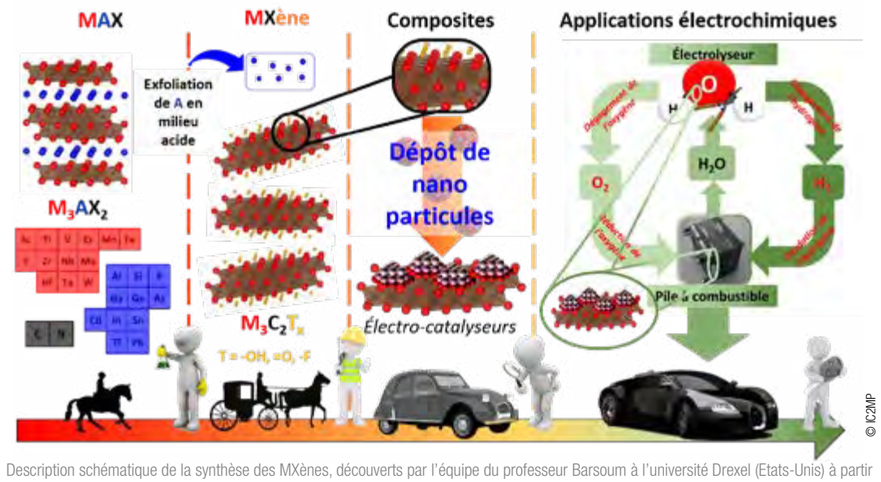
Les MXènes offrent déjà d'énormes potentialités dans de nombreuses applications aussi variées que le stockage et la conversion de l'énergie (batteries, supercondensateurs, piles à combustibles,…), la photocatalyse, le traitement de l'eau, les capteurs de gaz, le blindage électromagnétique, les films conducteurs transparents, les composites polymères ou encore en nano-médecine. Ces propriétés exceptionnelles en font sans doute déjà un des matériaux de référence pour le stockage électrochimique de l'énergie. Par ailleurs, la possibilité de moduler la composition chimique du MXène ainsi que la possibilité d'intercaler différentes espèces actives dans cette sorte de mille-feuille, ouvre de nombreuses applications non encore explorées en catalyse et en électrocatalyse.



Exemple de cliché de microscopie de feuillets de MXènes sous forme de stack.

DES ARGILES CONDUCTRICES

Une autre propriété remarquable de ces matériaux est leur capacité à se comporter comme des argiles. En effet suivant leur nature chimique, les MXènes peuvent devenir hydrophiles et stocker des cations stabilisant des couches d'eau entre les feuillets. Ils sont alors appelés communément des argiles conductrices en raison de leur conductivité électronique très élevée. Ainsi, cette particularité parmi les matériaux 2D conducteurs, offre des perspectives très importantes pour faciliter leur mise en forme, notamment pour fabriquer des encres ou encore des films par simple filtration. Cette faculté les rend très attractifs pour le monde industriel, la simplification de la mise en forme réduisant significativement le coût de fabrication.



Description schématique de la synthèse des MXènes, découverts par l'équipe du professeur Barsoum à l'université Drexel (Etats-Unis) à partir des phases MAX de composition chimique ajustable. Formation d'un composite par dépôts de nanoparticules d'oxydes pour créer un électrocatalyseur qui sera utilisé dans des piles à combustible et des électrolyseurs.

DES APPLICATIONS DANS LES PILES À COMBUSTIBLE ET LES ÉLECTROLYSEURS

En étroite collaboration avec l'Institut Pprime (Université de Poitiers-CNRS), internationalement reconnu dans le domaine des phases MAX utilisées pour la préparation des MXènes, l'IC2MP synthétise ces matériaux avec différentes compositions permettant d'obtenir des propriétés très diverses. Cette chimie particulière est notamment mise à profit pour disperser finement des nanoparticules d'oxydes (par exemple l'oxyde de cobalt) à la surface des feuillets. Ces matériaux composites MXène/oxyde sont alors étudiés comme électrocatalyseurs pour les réactions de réduction et de dégagement du dioxygène. Ces réactions clés sont impliquées dans des applications relevant de la transition énergétique tournée vers une économie basée sur l'hydrogène (Pile à combustible : production d'électricité à partir d'hydrogène ; Electrolyseurs : production d'hydrogène à partir d'eau). Dans ce cadre, le MXène sert notamment de conducteur électronique, un rôle primordial qui doit être assuré dans ce type d'application, et l'oxyde de catalyseur.

La versatilité chimique offerte par les MXènes pourra être mise à profit pour améliorer les performances de ces électrocatalyseurs. En cas de réussite, cette catégorie de matériaux composites pourra alors remplacer les platinoïdes (en particulier platine, iridium et ruthénium), catalyseurs de référence au coût très élevé, dont la production fait face à des problématiques géopolitiques sensibles freinant la production de masse.

UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE

En raison de la grande complexité de la chimie de ces matériaux, un important gap est aussi à franchir pour établir des protocoles de caractérisation fiables afin de déterminer leurs propriétés de surface ainsi que les interactions électroniques entre les oxydes et les MXènes dans les composites. À travers une collaboration interdisciplinaire faisant intervenir des physiciens, des électrochimistes et des chimistes de l'IC2MP, de Pprime, de l'IMN et du CEMTHI,* des études structurales et spectroscopiques permettant d'associer cristallographie et structure électronique sont menées. Des simulations DFT (méthode de calcul quantique) sont aussi développées pour aider à l'analyse des données expérimentales recueillies. Un tel support théorique est en effet essentiel dans l'appréhension de ces matériaux complexes. Il est utilisé pour guider les protocoles de synthèse vers le MXène le plus prometteur dans les applications visées.

ET AU-DELÀ ?

Ce projet fondamental, collaboratif et interdisciplinaire devrait profiter à la communauté grandissante des MXènes et, *in fine*, aux nombreuses applications associées à ces matériaux. Ceci sera réalisable grâce aux avancées qui seront obtenues sur la synthèse de MXènes à composition bien contrôlée et sur les caractérisations optimisées de ces matériaux multitâches combinant approches expérimentales et théoriques. À n'en pas douter, l'exploration de ces nouveaux objets excitants n'en est qu'à ses débuts et d'autres propriétés remarquables seront peut-être découvertes élargissant encore la gamme d'applications potentielles.

Lola LOUPIAS < IC2MP
lola.loupias@univ-poitiers.fr

Mohamed BENCHAKAR < IC2MP
mohamed.benchakar@univ-poitiers.fr

Stéphane CÉLÉRIER < IC2MP
stephane.celerier@univ-poitiers.fr

http://ic2mp.labo.univ-poitiers.fr/

* IMN : Institut des Matériaux Jean Rouxel, UMR 6502, Nantes

CEMHTI : Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation, UPR 3079, Orléans

Pprime : Institut P' : Recherche et Ingénierie en Matériaux, Mécanique et Energétique, UPR 3346, Poitiers

Projet MXENECAT soutenu financièrement par l'ANR, l'Union européenne (FEDER) et la Région Nouvelle Aquitaine.

Qu'en pensent-elles ?

Depuis quelques années, le CNRS met en place, sous différentes formes, une reflexion sur la situation des femmes dans l'établissement. Comment des chercheur-es ressentent-elles cet équilibre hommes/femmes dans leur quotidien ?

VIVIANA LAGO

Ingénieure de recherches en physique des plasmas et aérodynamique, en charge de la plateforme expérimentale FAST
Référente région de la mission pour la place des femmes au CNRS
Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement (ICARE)

Qu'est-ce qui vous a fait accepter ce statut de référente ?

" Depuis le début de mes choix d'études puis professionnels, au fur et à mesure que j'avançais, la population féminine se réduisait énormément. Je fais partie de la Bap C en instrumentation scientifique où la population féminine représente 7%. Dans les congrés de mon domaine scientifique la population féminine est inférieure à 10% en comptant très large. Dans les réunions de travail avec d'autres laboratoires ou organismes, je suis très souvent la seule femme. Compte tenu de ces observations, je me suis dit qu'il fallait agir pour briser les a priori qui peuvent dévoyer les filles de suivre des carrières scientifiques. "

Quelles actions mettez-vous en place ? Auprès de quel public ?

" Je suis membre de jurys de concours tous les ans. Je donne des cours à l'école d'ingénieur IPSA à Paris, où un quart des élèves sont des filles et j'essaye de passer le message que tous les métiers sont accessibles à tous si on s'en donne les moyens.*
Depuis quelques années on accueille [à ICARE] *des classes de primaires, collèges ou lycées pour leur expliquer ce que l'on fait et par ce biais montrer aux filles et aux garçons que les métiers ne sont pas sexués.*

Je pense que c'est par cette manière 'indirecte' que l'on peut montrer que les filles sont aussi capables que les garçons et briser ainsi les idées reçues, plutôt que de faire des discours féministes auxquels je n'adhère pas du tout.

La Fête de la Science est aussi un très bon vecteur touchant un très grand public qui peut motiver d'une part les filles à poursuivre dans des carrières scientifiques et d'autre part montrer aux garçons qu'il y a aussi des femmes dans les sciences dites 'dures'. "

Quels sont les enjeux ?

" Les enjeux par exemple sont d'amener les femmes à passer la barrière des concours. Actuellement, on constate que malgré la présence de filles dans les filières scientifiques, on ne les retrouve pas plus tard dans les concours.
Les raisons sont multiples et mériteraient d'être abordées de manière globale. Par exemple, aujourd'hui, le niveau et les exigences pour entrer au CNRS sont tels que les postulantes font plusieurs post doc à l'étranger avant de passer les concours. Pour une femme ce n'est pas toujours compatible avec une vie personnelle, et ceci peut être un frein. "

Quel est votre constat général ?

" Dans le domaine qui est le mien, malheureusement il y a en général moins d'attrait pour les sciences avec donc proportionnellement moins de femmes. Il faut renverser cette tendance dès maintenant si on veut d'ici une dizaine d'années avoir suffisamment de femmes et d'hommes dédiés à la science pour maintenir le niveau scientifique de la France et sa place à l'échelle mondial.

Au niveau du CNRS, et de la recherche, on compte actuellement une femme pour deux hommes toutes disciplines confondues et en prenant en compte les chercheurs-res et enseignant-es chercheurs. Un autre constat qui peut être fait : au CNRS, on retrouve moins de femmes aux postes les plus élevés. Et même dans des disciplines où la féminisation est plus importante, comme par exemple la biologie.

Les mécanismes qui mènent à ce résultat sont très complexes et encore une fois en lien avec le poids de la société, la parentalité. Une des voies à explorer serait de motiver les papas à prendre un congé parental, pour que ce ne soit pas toujours les mamans et de ce fait qu'elles ne soient plus pénalisées au niveau de leur évolution de carrière. "

Selon vous, est-il important de parler de la place des femmes au CNRS ?

" La question ne devrait même pas se poser. Je pense que ce qui est important c'est de créer un environnement qui donne la possibilité autant aux femmes qu'aux hommes d'évoluer et de bâtir la carrière qu'elles ou ils souhaitent, pour que les équilibres se fassent à terme naturellement. "

*la parité est obligatoire dans la composition d'un jury

JENNY JOUIN

Chargée de recherches en physique et chimie des matériaux
Institut de Recherche sur les Céramiques à Limoges (IRCER)

Après son doctorat en sciences des matériaux, Jenny Jouin est partie travailler, pendant 4 ans, dans un institut de recherche en Slovénie. Depuis 10 ans, à l'IRCER, ses travaux portent sur la synthèse et la caractérisation structurale de matériaux désordonnés.

Dès son enfance beaucoup de domaines l'intéressaient, mais le plaisir de toucher, manipuler et comprendre était toujours le plus important. Le soutien de ses parents et du corps enseignant a aussi été déterminant dans l'influence de ses choix d'études et de filières.

" Après avoir tout démonté, observé et goûté, les études scientifiques étaient résolument les plus adaptées à mon caractère. "

Jenny Jouin a toujours travaillé dans des équipes de recherches assez équilibrées en répartition hommes/femmes et n'a jamais rencontré de difficultés particulières.

" On ne peut pas exiger que les chercheurs soient exactement répartis à 50% lorsque les étudiants ne le sont pas. Cela imposerait un biais statistique qui exclurait l'examen unique des compétences, alors qu'il devrait normalement être le seul critère qui compte dans le domaine. "

Pour elle, la situation évolue positivement ces dernières années. Dans son domaine de recherche, les recrutements sont dans l'ensemble assez équilibrés ainsi que les promotions de corps et de grade ; l'image générale devrait se lisser progressivement.

" ... la place des femmes a été très désavantagée et le reste encore dans beaucoup de domaines. Mais il ne faut pas non plus qu'elle devienne une obsession, au risque de voir tous les problèmes de relation entre personnes sous le prisme du sexisme "

CÉLINE ALBERT

Doctorante en écologie des oiseaux marins en milieu polaire
Institut Littoral, Environnement et Sociétés (LIENSs)

Actuellement en thèse sur l'exposition aux polluants des oiseaux marins arctiques, Céline Albert est issue d'un parcours scolaire et professionnel plutôt atypique.
Après avoir effectué des études commerciales et travaillé dans une banque durant 2 ans, elle a réalisé que cette carrière ne lui correspondait pas.

Pour trouver sa voie en accord avec ses attentes personnelles et ses valeurs, elle a décidé de reprendre ses études avec une licence et un master en Biologie et Écologie.

" Aujourd'hui, mon " travail " n'en est plus vraiment un, puisque je le considère bien plus comme une passion, un style de vie. "

Céline Albert dit ne pas rencontrer de difficultés en tant que femme dans sa thématique de recherche composé principalement d'hommes.

" Dans mon cas, mon âge (35 ans en milieu de thèse) est plus un problème pour ma carrière en France que mon genre "

Cependant, elle a remarqué que les postes à responsabilité dans les milieux scientifiques sont représentés majoritairement par des hommes.

Selon elle, l'enjeux de la parité hommes/femmes dans l'univers scientifique dépend également des études secondaires, où jeunes filles et jeunes garçons sont bien trop souvent dirigés vers des carrières "genrées".

" De plus, on sait désormais que la diversité des profils contribue à la diversité des idées et des solutions. La science est aussi perdante quand les femmes scientifiques n'ont pas la carrière qu'elles méritent "

LE SAVEZ-VOUS ?

Le délai d'éligibilité à la bourse ERC "jeunes chercheurs" est de 12 ans après la thèse.
Une chercheuse bénéficie de 18 mois supplémentaires par enfant, pour candidater. Pour les hommes, la prolongation est *au prorata* de la durée du congé paternité.
Le même principe s'applique en cas d'adoption.

Pour plus d'informations

Thomas Rochette-Castel - Chargé d'affaires européennes - Service Partenariat et Valorisation
thomas.rochette-castel@cnrs.fr - 02 38 25 51 43

https://blog-rh.cnrs.fr/
http://www.cnrs.fr/mpdf/

Recueil des propos, rédaction et mise en page réalisés par Manon PARENT, apprentie en BTS Communication à la Délégation Centre Limousin Poitou-Charentes.

L'actualité en images

TROIS NOUVEAUX LABORATOIRES COMMUNS

© IC2MP - Élizabeth NAU

Le groupe SOLVAY, l'université de Poitiers et le CNRS ont signé une convention permettant de développer les liens entre leurs équipes de recherche spécialisées en chimie durable, implantées à Shanghai et Poitiers. L'Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers (IC2MP - Université de Poitiers-CNRS) devient ainsi le site miroir de E2P2L créant une passerelle destinée à formaliser et renforcer un partenariat scientifique déjà bien établi entre les deux laboratoires.

13 mai Poitiers

© CNRS DR8 - Linda JEUFFRAULT

ICARE et la société EXOTRAIL ont inauguré ORACLE - labORAtoire Commun propuLsion Electrique- concrétisant ainsi la mise en place d'une coopération scientifique et technologique afin d'accélérer le développement d'activités conjointes sur la micropropulsion électrique des nano et des micro-satellites.

28 mai Orléans

© CNRS - Stéphanie YOUNES

Safran, Oerlikon, le CNRS et l'Université de Limoges ont annoncé lors du Salon du Bourget, la création d'un laboratoire de recherche commun "PROTHEIS" et d'une plateforme technologique "SAFIR", deux structures complémentaires dans le domaine des traitements de surface pour l'aéronautique. Ce projet va renforcer le positionnement du laboratoire IRCER à Limoges dans les secteurs aéronautique et spatial ainsi que la formation associée à l'école d'ingénieur ENSIL/ENSCI et à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Limoges.

18 juin PARIS-Le Bourget

© CNRS-INSIM

XLIM, le LMA, le CHU de Poitiers et SIEMENS HEALTHCARE SAS collaborent depuis de nombreuses années sur des projets de recherche en imagerie médicale. Ils ont souhaité structurer leur collaboration en créant le laboratoire commun de recherche I3M pour "Imagerie Métabolique Multi-Noyaux Multi-Organes" réunissant des radiologues, des spécialistes des algorithmes d'apprentissage automatique et des experts des modèles biostatistiques et réalistes pour une modélisation du métabolisme du cerveau et du métabolisme tumoral.

28 juin Poitiers

ANNÉE DE LA CHIMIE DE L'ÉCOLE À L'UNIVERSITÉ

© CNRS DR8 - Linda JEUFFRAULT

Trois sites de la circonscription avaient été retenus par l'institut de chimie pour organiser une journée de formation à l'attention des enseignants du 2nd degré. C'est ainsi que 65 d'entre eux étaient à Orléans, 40 à Limoges et 50 à Poitiers. Après une conférence sur les dernières avancées de la chimie, ils étaient invités à visiter des laboratoires et à assister à des expériences pouvant être sources d'inspiration en matière de médiation scientifique. Merci à l'IRCER (Limoges), à l'IC2MP (Poitiers), au CBM, à l'ICMN, à l'ICOA et au LPC2E (Orléans) pour leur mobilisation.

http://anneedelachimie.cnrs.fr/

20 mars Orléans, Poitiers, Limoges

SCIENCE "ON AIR" AVEC RADIO2B

© RADIO 2B

8 lycéennes de TS du Lycée de Nogent-le-Rotrou ont demandé, pour une journée, à installer le studio mobile de leur radio scolaire "Radio2B" sur le campus d'Orléans. Leur objectif était simple : interviewer des personnels des laboratoires, quelle que soit leur domaine d'activité, pour faire découvrir, en direct, aux élèves de leur établissement un maximum d'informations sur les métiers de la recherche. Tout le travail préparatoire qu'elles avaient fait a rendu l'exercice "radiophonique" fort sympathique, avec la participation de l'ISTO, du LPC2E, du CBM, d'ICARE, du CEMHTI et de la Délégation régionale.

http://www.remibelleau.com/radio2b/

25 mars Orléans

RENCONTRES SCIENCES ET CITOYENS

© CNRS DR8 - Linda JEUFFRAULT

Les rencontres Sciences et Citoyens du CNRS étaient de retour à Poitiers ce printemps. Comme dans les éditions passées, des ateliers thématiques liés à des sujets de société ont été organisés au Lycée Nelson Mandela, pour des élèves de 1ère et de terminale. Trois thèmes retenus : "L'adolescence : Le plus le bel âge ?", "Énergie numérique : ennemie ou alliée de l'écologie ?" et "Fake news" animés chacun par des experts du domaine. La curiosité et la pertinence des 65 lycéens inscrits ont contribué à la réussite de l'événement "lycéens". La répétition des ateliers mais pour le grand public en soirée n'a pas eu le succès escompté. Dommage !

Retour en images sur les ateliers :
https://www.sciencesetcitoyens.fr/poitiers_2019/

2 avril Poitiers

C'GENIAL

© CNRS DR8 - Linda JEUFFRAULT

Nouvelle édition de la finale académique du concours C Génial ! 19 projets lycéens et 9 projets collégiens se sont (amicalement) affrontés pour représenter l'académie d'Orléans-Tours à la finale nationale. Ce sont les projets "Pasteur et les fakes news" du Collège H. Fillay (Bracieux), "le cuiseur à bois économe à double combustion" et le "Bonesound : casque à conduction osseusse" du Lycée Vaucanson (Tours) qui ont été retenus. C'est ce dernier qui, confirmant l'excellente impression qu'il avait faite, a reçu un "Génialissime" (ex premier prix) lui permettant de participer au prestigieux concours EUCYS à Sofia (Bulgarie) en septembre prochain.

https://www.cgenial.org/

4 avril Orléans

à venir...

Colloques

Conférence EANA 2019

Conférence et journée scientifique dédiées aux doctorants et jeunes chercheurs en astrobiologie.

https://eana2019.sciencesconf.org/

3-6 sept. Orléans

La recherche scientifique d'hier à aujourd'hui

3 soirées conférences-échanges grand public sur le domaine spatial, la sécurité de l'information et la santé.

www.xlim.fr

8-10 oct. Limoges

5e colloque Génomique Environnementale

Échanges sur l'utilisation des approches de séquençage à haut débit et des développements récents en bioinformatique.

https://apps.univ-lr.fr/cgi-bin/WebObjects/Colloque.woa

8-10 oct. La Rochelle

19th EDF - Pprime workshop

Défis des technologies de paliers lisses pour des applications d'énergie propre et à faible émission de carbone.

https://edf-pprime-2019.sciencesconf.org/

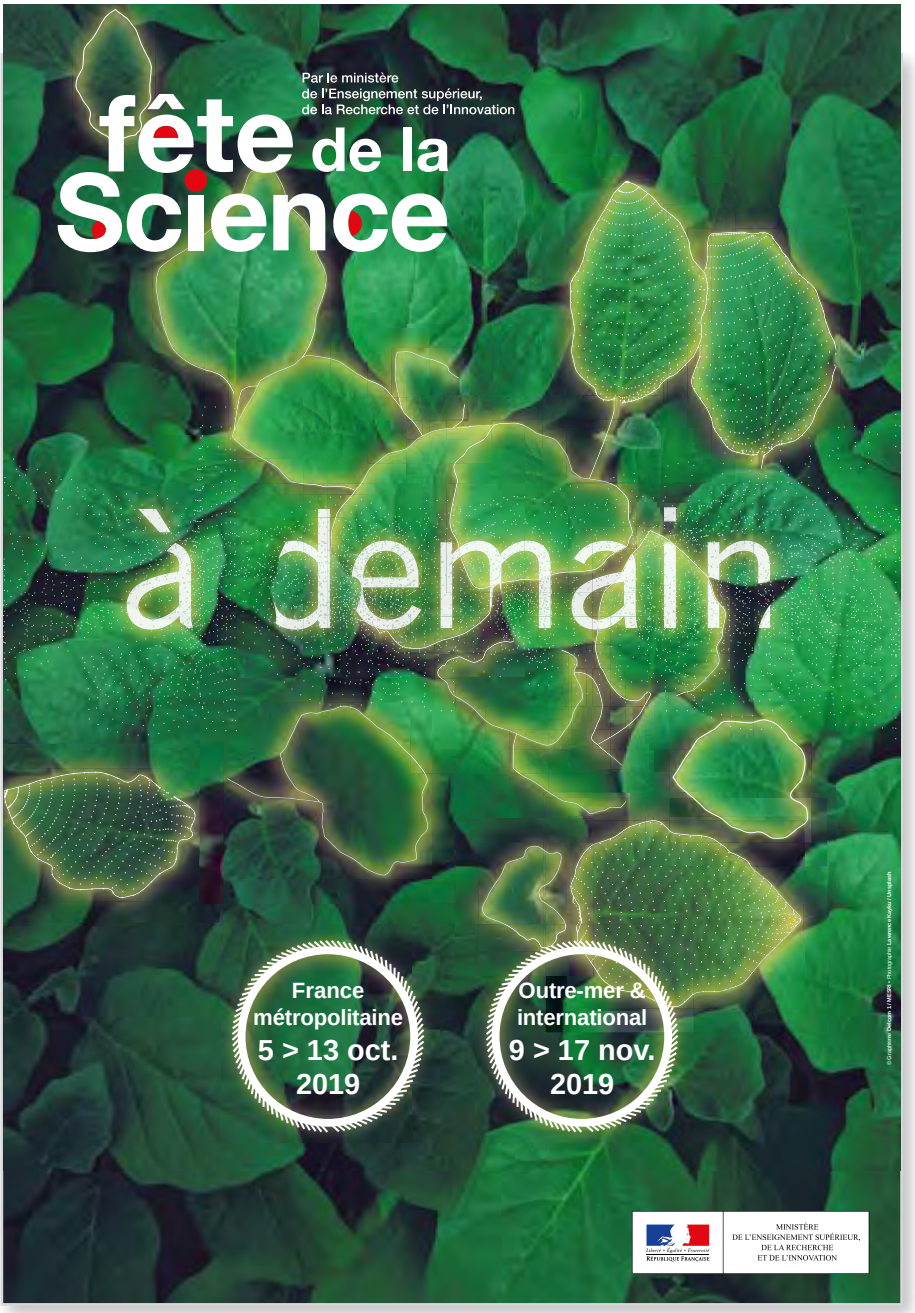
10-11 oct. Saclay

Au-delà du déchet

Rencontres et dialogues autour d'œuvres littéraires ou visuelles témoignant de la présence du déchet, sous ses formes plurielles.

https://audeladudechet.sciencesconf.org/

19-21 nov. Tours



JOURNÉES EUROPÉENNES DU PATRIMOINE

MANIFESTATION - Thème "Arts et divertissements". Cette 36e édition des Journées européennes du patrimoine propose de découvrir ou redécouvrir une nouvelle facette du patrimoine, celle du divertissement.

https://journeesdupatrimoine.culture.gouv.fr/

21-22 sept. sur tout le territoire

NUIT EUROPÉENNE DES CHERCHEURS

MANIFESTATION - Rencontre conviviale entre scientifiques et grand public. *Vous aussi, entrez dans l'enquête !*

https://www.nuitdeschercheurs-france.eu

27 septembre Limoges

80 ANS DU CNRS

Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

MANIFESTATION - 2019, année anniversaire du CNRS : encore de nombreuses manifestations pour célébrer les 80 ans. À découvrir sur :

https://80ans.cnrs.fr/

jusqu'en décembre Sur tout le territoire