

microscope

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

n°84 - juillet 2021

Physique

Prévenir et se protéger des feux dans les conduits de cheminées

Biologie

Quand les anticorps deviennent toxiques

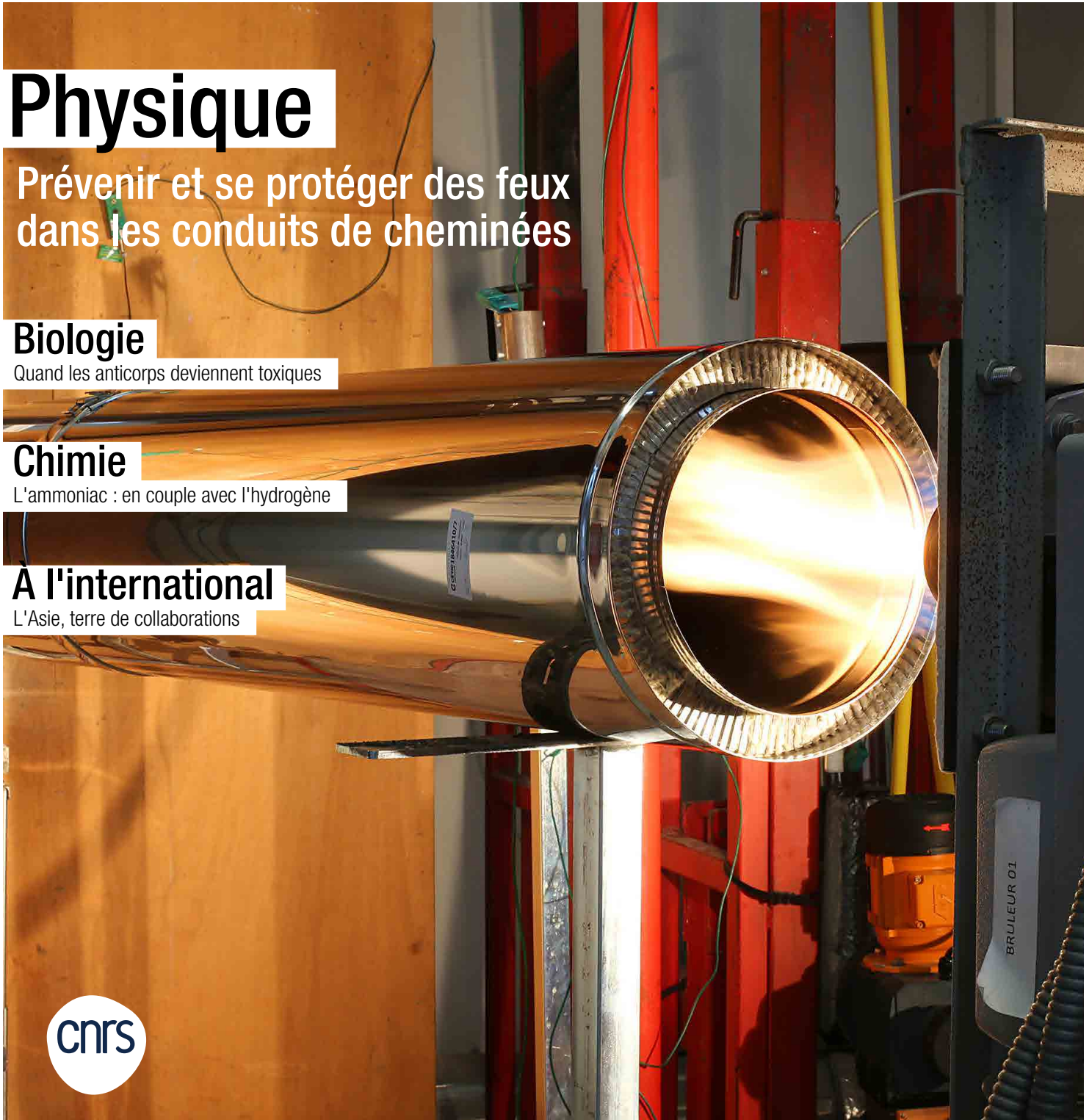
Chimie

L'ammoniac : en couple avec l'hydrogène

A l'international

L'Asie, terre de collaborations

cnrs





4 Paléontologie

- Le rhassoul, une argile unique au monde

6 Histoire

- Les Mamelouks : l'histoire d'esclaves devenus sultans

8 Biologie

- Quand les anticorps deviennent toxiques
- Exposition professionnelle aux pesticides et augmentation du risque leucémique

12 Chimie

- L'optimisation des retardateurs de flamme, un enjeu pour les matériaux biocomposites
- L'ammoniac : en couple avec l'hydrogène

16 Physique

- La climatisation passive, une solution à la surconsommation énergétique
- Prévenir et se protéger des feux dans les conduits de cheminée
- Les fissures de fatigue : un enjeu de sécurité
- Aller au-delà de la 5G...

24 À l'international

- L'Asie, terre de collaborations

26 Actualités



ISSN 1291-8083

Photo couverture : Essai en dispositif « coin en bois » sur la tenue thermique des conduits
© CERIC

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
Miléna Verot

Création graphique/conception

Linda Jeuffrault
Hugo Guimonneau

Ont participé à ce numéro :

Refet Ali Yalçın, Sébastien Bender, Sami Benkherfallah, Mouloud Benammi, Samuel Bernard, Nicolas Bion, Pierre Blondy, Fabien Can, Claire Carrion, Charlotte Croisé, Pierre Crémona, Frédéric Dumas-Bouchiat, Jérémie Dréwillon, Lionel Druette, Vanessa Ersnt-Maillet, Amélie Foucault, Koichiro Fukuda, Olivier Herault, Karl Joulain, Yves Nadot, Élisabeth Nau, Thomas Rogeume, Christophe Sirac, Philippe Thomas, Nicolas Vallet.

Imprimeur - Prévost Offset
Impression sur papier 100% recyclé Recyтал Matt



10-31-3175 / Certifié PEFC / pefc-france.org



Éditorial

À partir de septembre, nous espérons retrouver notre environnement de travail. Le présentiel prendra la place du distanciel qui, s'il nous a permis de nous protéger tout en exerçant nos activités professionnelles, nous a éloigné de nos collègues. Nous avons aussi été privés d'un grand nombre d'interactions avec des stagiaires, des partenaires scientifiques et du grand public, scolaire en particulier. La rentrée sera l'occasion de renouer avec ces relations qui ont manqué à nombre d'entre vous. Plusieurs grandes opérations sont programmées : une nouvelle édition des Visites insolites du CNRS, le lancement de l'Année de la Biologie ou d'Étonnante chimie. Des colloques sont déjà annoncés tant sur la circonscription qu'à l'étranger. Le retour à la normalité s'amorce.

Une nouvelle fois, Microscoop se fait l'écho des actualités scientifiques et institutionnelles du CNRS dans nos territoires. Je remercie les laboratoires pour leur concours qui permet à nouveau d'exposer la diversité et la richesse des travaux et celles et ceux qui les réalisent. Je tiens d'ailleurs à féliciter nos talents, chercheurs et ITA, récompensés pour leurs activités de recherche ou d'appui à la recherche : médaille de l'innovation, médaille de bronze, cristal.

Comme habituellement, la physique, la chimie, la biologie ou l'histoire sont présentes dans ce numéro. Microscoop met aussi à l'honneur un laboratoire commun entre une unité de recherche et une entreprise. Il s'agit de l'une des formes de collaboration la plus aboutie entre le CNRS et ses partenaires industriels sur le long terme et sur une thématique spécifique à explorer. Comme l'illustre l'article, le laboratoire commun élargit les champs d'investigation de la recherche et développe des innovations de pointe.

Une nouvelle rubrique « À l'international » fait son apparition avec deux exemples de collaborations avec l'Asie. Les scientifiques n'en seront pas surpris puisque, au quotidien, ils et elles sont en relation avec leurs homologues étrangers. Cette réalité n'est pourtant pas si connue du grand public lecteur de Microscoop. Or, ces collaborations à l'international concourent à la visibilité et l'attractivité de nos laboratoires et, plus globalement, de nos territoires. Cette nouvelle rubrique sera régulière et les propositions des laboratoires pour l'alimenter sont bienvenues.

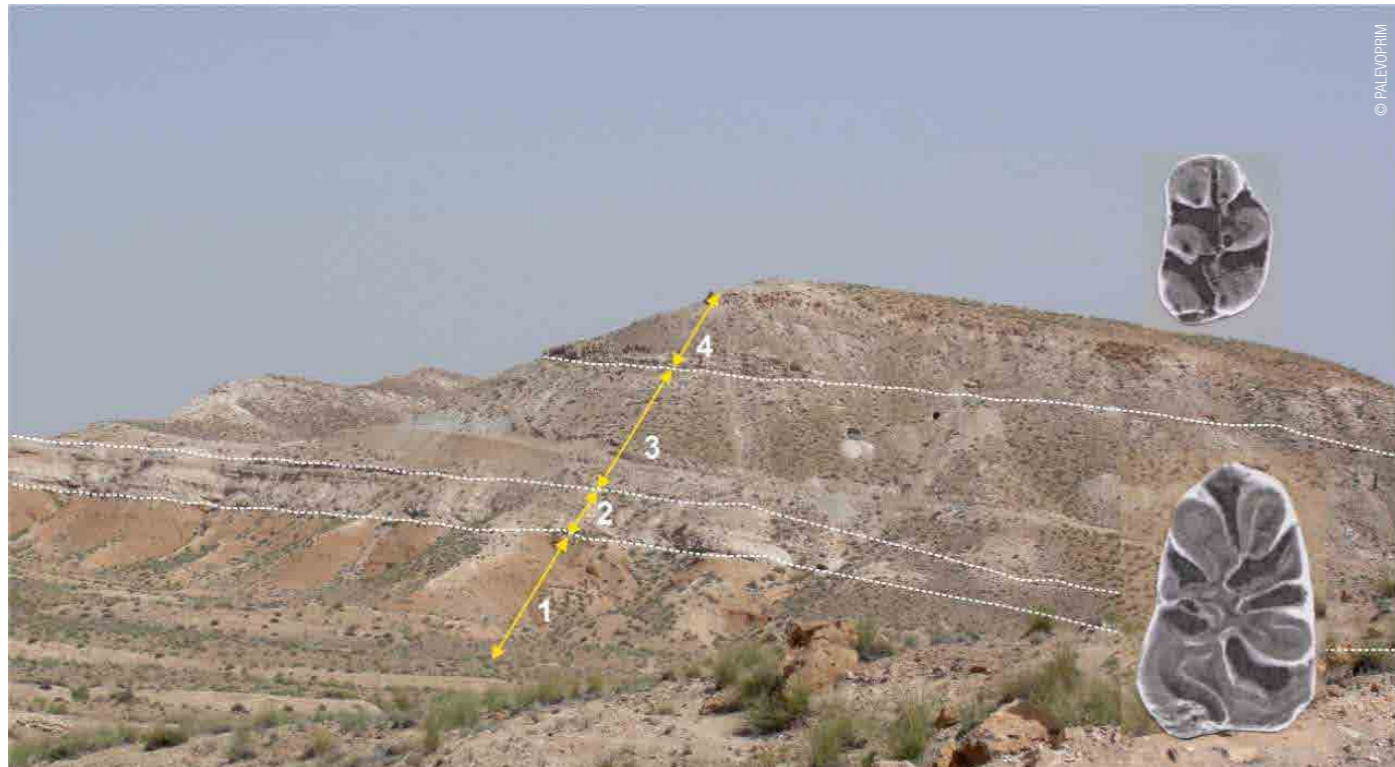
Ce numéro de juillet coïncide avec les congés d'été que je souhaite agréables et ressourçants pour toutes et tous. Bonne lecture et bonnes vacances.

Ludovic Hamon
Délégué régional



Le rhassoul, une argile unique au monde

Ses multiples vertus et usages font du rhassoul, une argile naturelle remarquable exportée dans le monde entier. L'origine, la composition et l'âge de son gisement ont toutefois fait l'objet de nombreuses recherches.



Vue d'ensemble sur la série de Jebel Rhassoul. On voit principalement, (1) la formation rouge à la base, puis (2) la formation blanche, au-dessus (3) la formation verte qui contient le rhassoul, puis au sommet (4) la formation beige essentiellement carbonatée et qui forme des corniches. Sur le flanc, on voit quelques entrées de galeries. Exemples de fossiles de rongeurs décrits dans une couche de rhassoul, en haut : molaire supérieure droite de *Mellalomys rhassoulensis*, une espèce de gerbillidé ; en bas : molaire inférieure gauche de *Protalactaga sefroii*, une espèce de gerboise.

Depuis les temps anciens, une argile particulière 100 % naturelle aux très bonnes propriétés nettoyantes est connue au Maroc. Elle est dénommée rhassoul ou ghassoul, ce terme provenant du verbe arabe « ghassala » qui signifie « laver ». Celle-ci était utilisée comme savon naturel et shampooing par les habitants locaux mais aussi par d'autres nations de la région méditerranéenne et du Moyen Orient. Elle est aujourd'hui exportée dans le monde entier car elle connaît de nombreux usages.

En effet, en plus de son utilisation dans les spas modernes, le rhassoul a aussi fait ses preuves dans les secteurs de la cosmétique et de la dermatologie : grâce à ses nombreux composants minéraux, il est utilisé comme agent stabilisant, humectant ou émulsifiant dans les crèmes, gels, masques... Contrairement à un tensio-actif classique, il est doux pour le nettoyage sans ôter le film protecteur (sébum) des cheveux ou de la peau. Par ailleurs, le rhassoul est utilisé en pharmacie comme ingrédient principal de pansements gastriques ou en chimie en tant qu'épurateur d'eau naturel.

La neutralité physico-chimique de cette argile et son haut pouvoir d'échange d'ions lui confèrent ses vertus qui l'ont fait activement exploiter au détriment d'autres argiles au Maroc. La Société du Rhassoul et de ses dérivés dont le siège est à Fès, exploite, traite et commercialise le seul gisement connu dans le monde (appelé Jebel Rhassoul),

situé dans la région de El Ksab, à Tamdafelt entre Midelt et Missour. L'exploitation se fait artisanalement dans les galeries de mines souterraines à l'aide de pioches.

"... la transformation de la dolomie... dans un environnement lacustre..."

DES QUESTIONS AUTOUR DE L'ORIGINE ET DE LA COMPOSITION

Dans les années 1990, l'origine et la composition des phases du gisement de rhassoul étaient encore débattues. Les scientifiques se sont alors intéressés à ces questions. La première hypothèse selon laquelle le gisement s'est formé dans un environnement évaporitique riche en gypse (un minéral) a été contestée ultérieurement. Elle révèle que l'origine du rhassoul est due à la transformation de la dolomie (une roche sédimentaire carbonatée) dans un environnement lacustre d'eau douce ou saumâtre pendant le tertiaire (ère géologique s'étendant de - 66 à - 2,58 Millions d'années (Ma)).

Le Jebel Rhassoul se trouve au niveau de cuvettes comblées par des sédiments lors des périodes du tertiaire et du quaternaire (de -2,58 Ma à aujourd'hui) de la Moyenne Moulouya, un fleuve du Maroc. Relativement étroites à l'ouest, elles s'élargissent vers l'est, suite à la divergence des axes des massifs de montagnes du Moyen-Atlas et du

Haut-Atlas. La morphologie géologique du bassin de Missour présente une épaisse série de formations continentales tertiaires et quaternaires. Les géographes et les géomorphologues ont trouvé là un terrain très favorable pour leur recherche. C'est d'ailleurs ici que l'étage Moulouyen (une subdivision sur l'échelle des temps géologiques), étage-type du Quaternaire, a été défini dans la vallée de la Moulouya.

Au niveau du Jebel Rhassoul, la succession de strates géologiques a été mise en évidence :

La formation argilo-gypseuse rouge, occupe le fond des vallées qui entaillent profondément la topographie. Le gypse s'y présente sous forme de gros grains réunis par un ciment argilo-carbonaté.

La formation gypseuse blanche est généralement beaucoup plus massive et forme souvent des murailles subverticales. Le gypse qui se présente sous forme de bancs à structure saccharoïde (ayant l'apparence de sucre cristallisé), recoupe des fissures plus au moins larges remplies de gypse secondaire fibreux.

La formation de transition à rhassoul de 10 à 12 m d'épaisseur présente des carbonates formant des bancs de plus en plus durs et épais en remontant dans la série. Les argiles marneuses verdâtres à rougeâtres à cassures conchoïdales (franches, courbes et lisses) de la base, passent progressivement à des argiles feuilletées de couleur brune ou noire. C'est à ce niveau que se présente le rhassoul qui forme



Entrée de la mine.

une ou plusieurs couches irrégulières. Souvent, de très nombreux silex y sont associés.

La barre carbonatée supérieure est constituée d'une succession de bancs massifs de plus en plus épais, séparés à la base par de petits niveaux d'argile noire, trop peu épais pour être exploités. Vers le sommet, ces niveaux argileux s'amenuisent puis disparaissent et les bancs carbonatés ne sont plus séparés que par des diastèmes (ou interruptions de sédimentation). Cette formation constitue les corniches qui dominent les hauteurs de paysage.

CONTROVERSES ET AVANCÉES SUR L'ÂGE DU GISEMENT

L'âge du rhassoul a fait l'objet de nombreuses controverses. Toutes les attributions stratigraphiques qui ont été faites par le passé sont basées sur l'analyse des dépôts continentaux de différents bassins environnants dont les âges sont connus. Cette comparaison a permis de proposer une situation stratigraphique provisoire pour les dépôts continentaux du bassin de Missour. Ces derniers ont été attribués à l'Oligo-Miocène (milieu de l'ère tertiaire, il y a environ 25 Ma) puis au



En plus de son utilisation dans les spas modernes, le rhassoul a aussi fait ses preuves dans les secteurs de la cosmétique et de la dermatologie.

Pliocène (fin du tertiaire, de - 5,5 à - 1,8 Ma). Pour répondre à cette incertitude sur l'âge de ces dépôts, des fossiles de rongeurs ayant un rôle déterminant dans la biochronologie du tertiaire continental ont été recherchés par PALEVOPRIM (laboratoire Paléontologie Evolution Paléocosystèmes Paléoprimateologie – UMR7262 CNRS / Université de Poitiers).

Dans le gisement de Jebel Rhassoul, huit espèces de rongeurs correspondant à quatre familles ont été trouvées. Les gerbillidés représentent 61,5% du nombre total des molaires recueillies et sont représentés par quatre espèces. Les gerbillidés actuels sont essentiellement des rongeurs des steppes et des déserts d'Afrique et d'Asie. Les cténodactylidés représentent 17% de la faune et vivent, comme les dipodidés (gerboises), également dans les zones semi-désertiques. Ces deux familles ont des bulles tympaniques hypertrophiées caractéristiques d'une réponse adaptative à l'ensemble des facteurs désertiques. Le peuplement faunique de Jebel Rhassoul témoigne donc de manière très probante d'un milieu ouvert voire semi-aride. Ce type de conditions climatiques est enregistré par la sédimentation et corroboré par les résultats obtenus à partir des isotopes stables de l'oxygène.

La découverte de rongeurs connus auparavant dans d'autres sites a permis d'attribuer le gisement du rhassoul à la partie supérieure du Miocène Moyen (de -16 à -11 Ma). Par ailleurs, les travaux de PALEVOPRIM ont montré que la faune de Jebel Rhassoul était identique à celle du gisement à rongeurs d'Azdal 3 (dans le bassin d'Ait Kandoula, situé sur le flanc sud du Haut-Atlas) dont l'âge est connu. La corrélation de la coupe d'Azdal avec l'échelle géomagnétique suggère un âge numérique de 12,4 Ma, contrairement à ce qu'ont suggéré de précédents travaux de recherche.

L'ensemble de ces données pourraient contribuer à la valorisation de cette argile endémique marocaine et à la faire entrer dans la liste des produits bénéficiant d'une « Indication Géographique ».

Mouloud BENAMMI < PALEVOPRIM
mouloud.benammi@univ-poitiers.fr
<http://palevoprims.labo.univ-poitiers.fr/>

Les Mamelouks : l'histoire d'esclaves devenus sultans

En Orient islamique, des esclaves se sont élevés au rang de souverains. De « chose possédée », ils ont occupé les plus hautes fonctions d'un puissant sultanat.



Mosquée-madrasa sultan Hassan (gauche), XIV^{ème} siècle, Le Caire.

Mamelouk est un terme arabe signifiant « chose possédée ». D'origine non musulmane, ces soldats-esclaves issus de contrées lointaines étaient au service de souverains. Ils devaient suivre une formation à la fois religieuse et militaire après s'être convertis à l'islam. Une fois affranchis, ils pouvaient accéder aux hautes fonctions du sultanat, jusqu'à devenir sultan.

Avant d'être à la tête d'un état puissant et souverain, les Mamelouks formaient la garde prétorienne des souverains abbassides, puis ayyoubides. Ils constituaient des contingents militaires importants dans la plupart des armées de l'Orient islamique. Leur autorité était telle, qu'ils finirent par évincer le pouvoir ayyoubide, fragilisé par la menace croisée puis mongole. Ils s'installèrent sur le trône deux siècles et demi durant, ce qui fut permis par l'intronisation d'un parent éloigné du dernier calife abbasside, et cela afin de s'assurer une légitimité politique durable auprès des populations et des pouvoirs musulmans du Maghreb à l'Indus. Cette aventure rocambolesque a porté Le Caire à son apogée, de nombreux monuments en témoignent encore aujourd'hui.

L'ACCESSION AU POUVOIR

Jusqu'à-là, les brigades kurdes, ethnique d'origine des sultans ayyoubides, étaient les seuls et véritables soutiens des sultans d'Égypte. Mais le sultan al-Salih Ayyub (1240-49) a vu en ces Mamelouks, d'origine turque, une loyauté indéfectible qu'il pensait exploiter et développer pour assouvir son pouvoir efficacement dans la région.

Avec l'affluence croissante de ces esclaves venus d'Asie, le sultan al-Salih décida de faire construire une caserne aux abords du Nil, qui donnerait par la suite son nom (les Bahrites) à la première dynastie mamelouke régnante.

Après la prise de la ville de Damiette par les forces de Saint-Louis en 1249, les Francs étaient aux portes de l'Égypte et avaient pour prochaine étape Le Caire. La victoire des chrétiens d'Occident s'avérait certaine. Pourtant, malgré la mort du sultan al-Salih, les troupes musulmanes, avec à leur tête un certain Baybars, prirent l'avantage. Elles vainquirent pour longtemps les troupes croisées.

La dynastie des Ayyoubides survécut encore quelques années à travers la personne de Shajar al-Dur, veuve du sultan al-Salih.

L'arrivée de Mongols par l'est semblait être l'une des pires catastrophes de l'histoire du dar al-Islam. Elle allait en fait devenir pour les Mamelouks une source de légitimité politique et militaire. En effet, après avoir tué le dernier calife abbasside et saccagé l'une des plus prestigieuses villes du monde, Bagdad, les Mongols s'apprétaient à déferler sur l'Égypte. Les Mamelouks se sont présentés comme les derniers remparts face à ce qui s'apparentait à un véritable cataclysme, tant pour l'Occident musulman que chrétien. Alors considérés comme invincibles, les Mongols sont battus par les Mamelouks à la suite d'une bataille décisive à Ain Jalout en 1260 (actuelle Palestine).

À la suite de cette victoire qui eut des échos jusqu'au fin fond du monde connu, Baybars (1260-1277), en fin stratège, parvint à s'accaparer le pouvoir. Il fut considéré comme le véritable fondateur de l'État mamelouk. Il posa les bases de ce qui deviendrait le puissant sultanat, « dawlat al-Atrak » (= État des Turcs). Afin de consolider son pouvoir dont il n'avait pas la pleine légitimité, il fit restaurer le califat au Caire, en intronisant un parent proche du dernier calife abbasside de Bagdad, al-Musta'sim Billah. À cette époque, le pouvoir ne pouvait en effet se concevoir qu'à travers un pouvoir dynastique « prophétique ». Il fallait justifier d'une ascendance noble. Les Abbassides descendaient de Mahomet, par leur oncle Abbas (=Abbas-sides). De ce fait, les Mamelouks utiliseront cette légitimité dynastique des Abbassides pour installer leur pouvoir qui ne reposait que sur les armes.

L'AVÈNEMENT D'UNE PUISSANCE

Le danger mongol éloigné, en proie à des querelles de succession, Baybars fit des possessions chrétiennes en Orient une priorité. Il prit l'initiative de regagner peu à peu les terres perdues. Il finit par imposer son autorité sur un territoire allant de l'Égypte à la Syrie en passant par al-Hijaz (où se situaient les deux villes saintes de l'Islam : La Mecque et Médine).



Casque mamelouk », XV^{ème} siècle



Le sermon de Saint-Marc à Alexandrie, peinture italienne de la fin du XVI^{ème} siècle.

Après une période de troubles politiques et économiques sur cette région, les menaces environnantes furent durablement écartées. Le sultan mamelouk al-Nasir Muhammad b. Qalawun plus d'une fois évincé du pouvoir, réussit en tout à s'y maintenir une quarantaine d'années. Il est décrit comme un souverain à la fois tyrannique envers les puissants et juste à l'égard des nécessiteux. Il compta parmi les sultans les plus habiles de l'aventure mamelouke, dont le faste à la cour ne fut presque jamais égalé, jusqu'à ce que la peste vienne subitement frapper l'Égypte. C'est sous son règne que Le Caire put atteindre son apogée marquée par une production architecturale et monumentale intense, sans précédent en Égypte. Nombre de ses fils lui succédèrent sans se maintenir efficacement au pouvoir du fait de leur jeune âge. Cette instabilité politique s'est traduite par une nouvelle période de troubles et de guerres fratricides.

Barquq (1382/1399), un émir mamelouk puissant, décida d'y mettre fin en orchestrant un coup d'État. Son règne marque l'arrivée au pouvoir d'une nouvelle dynastie mamelouks que les historiens ont appelé les Burjites (1382/1517).

"... une puissance militaire des plus importantes..."

Le début du XV^e siècle fut chaotique. La Syrie n'eut pas la force de se relever du passage des armées du guerrier turco-mongol Tamerlan. En Égypte, les conditions climatiques rendaient la vie difficile pour les populations qui subissaient les sécheresses à répétition sans véritable intervention de l'État qui était, en cette période, au plus bas.

C'est sous le règne de Barsbay entre 1422 et 1438 que les Mamelouks purent retrouver un semblant de prestige, le sultanat s'étant réaffirmé comme une puissance militaire des plus importantes de la région. Cependant les nombreuses expéditions qui représentaient un effort financier considérable ne permirent pas au sultanat mamelouk de se redresser d'une situation économique déjà fragile.

LE DÉCLIN D'UNE DYNASTIE

Au XV^e siècle, l'armée mamelouke n'avait ni les moyens, ni l'ambition de moderniser son armée, notamment en ce qui concerne les armes à feu. Elle n'était plus la puissance militaire d'antan et demeurait vulnérable aux yeux des puissances voisines, notamment face aux Ottomans qui s'affirmaient de jour en jour comme la véritable puissance régionale. Le plus long règne fut celui du sultan Qaitbay (1468-1496) qui prit les initiatives nécessaires face au danger ottoman, et à la condition économique dont le sultanat n'arrivait pas à se relever. Il proposa, pour sauver le sultanat d'une fin certaine, différentes réformes. Les chroniqueurs arabes le décrivent comme un homme pieux, grand bâtisseur et conscient des besoins de ses sujets.

Après sa mort s'en sont suivies des querelles, des complots, où l'intérêt matériel primait sur l'existence même du sultanat, jusqu'à l'arrivée au pouvoir du dernier grand sultan de l'histoire mamelouke, al-Ghawri (1501/1516). Une bataille décisive allait avoir lieu à Marg Dabik en 1516 opposant Ottomans et Mamelouks. L'issue de cette bataille allait désigner le véritable leader de la région. Le sultan al-Ghawri perdit la vie durant cette bataille et le sultan ottoman Selim I^{er} entra en maître absolu en Syrie, où l'accueil lui fut plutôt favorable.

Les Mamelouks ne régnaient désormais que sur l'Égypte. Le dernier sultan Tumanbay, livra bataille jusqu'à ce qu'il soit capturé et pendu au Caire en 1517. Selim devint le maître des territoires anciennement occupés par les Mamelouks. Le Caire perdit son statut de capitale politique et de carrefour des savoirs, et l'Égypte fut rétrogradée au simple statut de province ottomane.

Sami BENKHERFALLAH < CESC
sami.benkherfallah@univ-poitiers.fr
<https://cescm.labo.univ-poitiers.fr/>

Quand les anticorps deviennent toxiques

Dans tous les mécanismes de défense que le corps humain déclenche pour lutter contre une agression extérieure, les anticorps sont en première ligne. Lorsqu'ils se dérèglent, ils sont cependant à l'origine de maladies graves.

Les anticorps sont des atouts indispensables et très efficaces pour la protection contre les organismes pathogènes. Toutefois, lors de la prolifération anormale de plasmocytes qui sont les cellules productrices de ces anticorps, ils peuvent devenir toxiques pour l'organisme en étant produits en grande quantité et en se déposant dans certains organes, provoquant leur dysfonctionnement.

Les immunoglobulines (Ig) sont les anticorps produits par certaines cellules immunitaires, les lymphocytes B, lorsque l'organisme est soumis à une agression par un agent pathogène, tels que les bactéries et les virus. Leur rôle est alors de les neutraliser. D'un point de vue structural, ce sont des protéines que l'on dit polypeptidiques parce qu'elles sont composées de deux chaînes peptidiques dites lourdes et de deux chaînes peptidiques dites légères. On distingue deux parties : l'une variable qui reconnaît l'agent pathogène et l'autre constante qui confère les propriétés biologiques à l'Ig.

Les Igs sont codées par de nombreux segments géniques, les parties variables des chaînes lourdes et légères en particulier par le réarrangement aléatoire de différents segments qui vont conduire à un répertoire d'une grande diversité. Lors de la rencontre avec un agent infectieux, une série de mutations géniques dans les domaines variables va permettre aux Igs d'acquérir une affinité de plus en plus élevée pour l'agent pathogène afin de mieux répondre à l'agression.

DES MUTATIONS PAS TOUJOURS MALIGNES

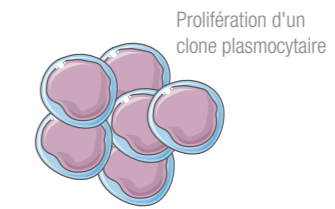
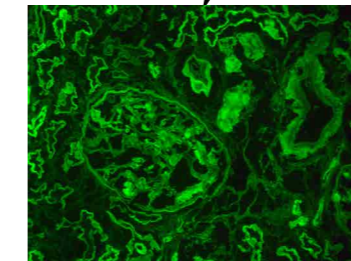
Malgré une surveillance étroite des mécanismes conduisant à l'obtention d'anticorps de haute affinité contre un agent pathogène, des mutations peuvent provoquer des dysfonctionnements des lymphocytes B. En particulier, avec l'âge, il n'est pas rare d'observer la prolifération anormale de plasmocytes, cellules sécrétrices d'anticorps représentant le stade terminal de différenciation du lymphocyte B. On parle alors de clones plasmocytaires. Ces proliférations sont fréquentes chez le sujet âgé, affectant environ 4% de la population âgée de 50 ans et plus, et jusqu'à 7% des personnes de plus de 70 ans. Si dans certains cas ces proliférations sont classées parmi les cancers, comme le myélome multiple (MM), dans leur grande majorité elles restent bénignes et se caractérisent uniquement par la présence en excès dans le sérum du patient d'une Ig qualifiée de monoclonale, c'est-à-dire provenant d'une même cellule qui a proliféré. Cette Ig monoclonale est généralement détectée par un simple examen des protéines sériques ou urinaires. Le traitement n'est alors pas recommandé car cette prolifération peut rester asymptomatique pendant de très nombreuses années.

DE BÉNIGNES À TOXIQUES

Toutefois, dans certains cas, une prolifération plasmocyttaire, même réduite, peut produire des symptômes sévères du fait de l'Ig produite et

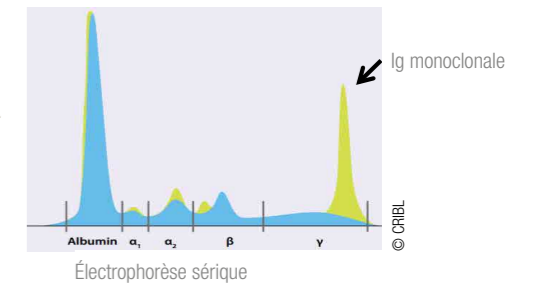
La prolifération d'un clone plasmocyttaire est à l'origine d'un excès d'une immunoglobuline (Ig) monoclonale le plus souvent visualisable sur une électrophorèse des protéines sériques. Certaines Ig monoclonales ont des caractéristiques physicochimiques conduisant à leur agrégation et dépôts dans les organes, en particulier dans le rein.

Dépôt d'Ig monoclonales (en vert) dans le rein



Prolifération d'un clone plasmocyttaire

Ig monoclonales sécrétées en excès



des mutations qui y apparaissent naturellement au cours de la maturation d'affinité. Ces mutations peuvent leur conférer des propriétés physicochimiques particulières pouvant les rendre insolubles et enclines à s'agréger. Elles deviennent alors toxiques pour l'organisme en se déposant dans différents organes et en provoquant leur dysfonctionnement : on parle alors de maladies de dépôts d'Igs monoclonales. Le rein en demeure la cible principale même si l'ensemble des organes peuvent être concernés. Selon l'Ig, les dépôts peuvent être de différentes nature : fibrillaire dans le cas de l'amylose AL, la plus répandue de ces maladies de dépôts, amorphe (maladies de dépôts de chaînes lourdes et/ou légères), cristalline dans le cas du syndrome de Fanconi lié aux Igs...

"... un savoir-faire éprouvé pour la modélisation de ces maladies *in vitro* et *in vivo*."

Le laboratoire Contrôle de la réponse immune B et des lymphoproliférations (CRIBL – UMR 7276 CNRS/Université de Limoges/Inserm) s'inscrit depuis ses débuts dans l'étude de ces maladies liées au dépôt de ces Igs pathogènes. Il est une composante importante du centre national de référence de l'Amylose AL et autres maladies par dépôts d'Igs monoclonales coordonné conjointement par les CHU de Limoges et de Poitiers. De cette riche collaboration ont découlé plusieurs avancées scientifiques dans la compréhension des mécanismes physiopathologiques de ces maladies et dans la prise en charge des patients. Plus largement, le laboratoire participe au niveau international au groupe de recherche de l'IKMG (*International Kidney and Monoclonal Gammopathy Research Group*).

Le CRIBL possède un savoir-faire éprouvé pour la modélisation de ces maladies *in vitro* et *in vivo*. Il réalise notamment des modèles murins transgéniques par insertion ciblée de gènes d'Igs pathogènes isolées de patients. Cette méthode assure une forte sécrétion des chaînes d'Igs par les plasmocytes des modèles, comme ce que l'on peut observer chez les patients. Ainsi, plusieurs modèles murins de différentes mala-

dies de dépôt d'Ig ont été réalisés : un modèle de syndrome de Fanconi lié aux Igs, de HCDD (*Heavy Chain Deposition Disease*,) et dernièrement de LCDD (*Light Chain Deposition Disease*,). Ces modèles ont l'avantage de reproduire fidèlement la plupart des atteintes observées chez l'homme et ont permis de faire avancer la compréhension des mécanismes physiopathologiques de ces maladies. La finalité de ces modèles est aussi de proposer de nouvelles solutions thérapeutiques aux patients atteints de ces pathologies.

DES NOUVELLES MUTATIONS DÉCOUVERTES

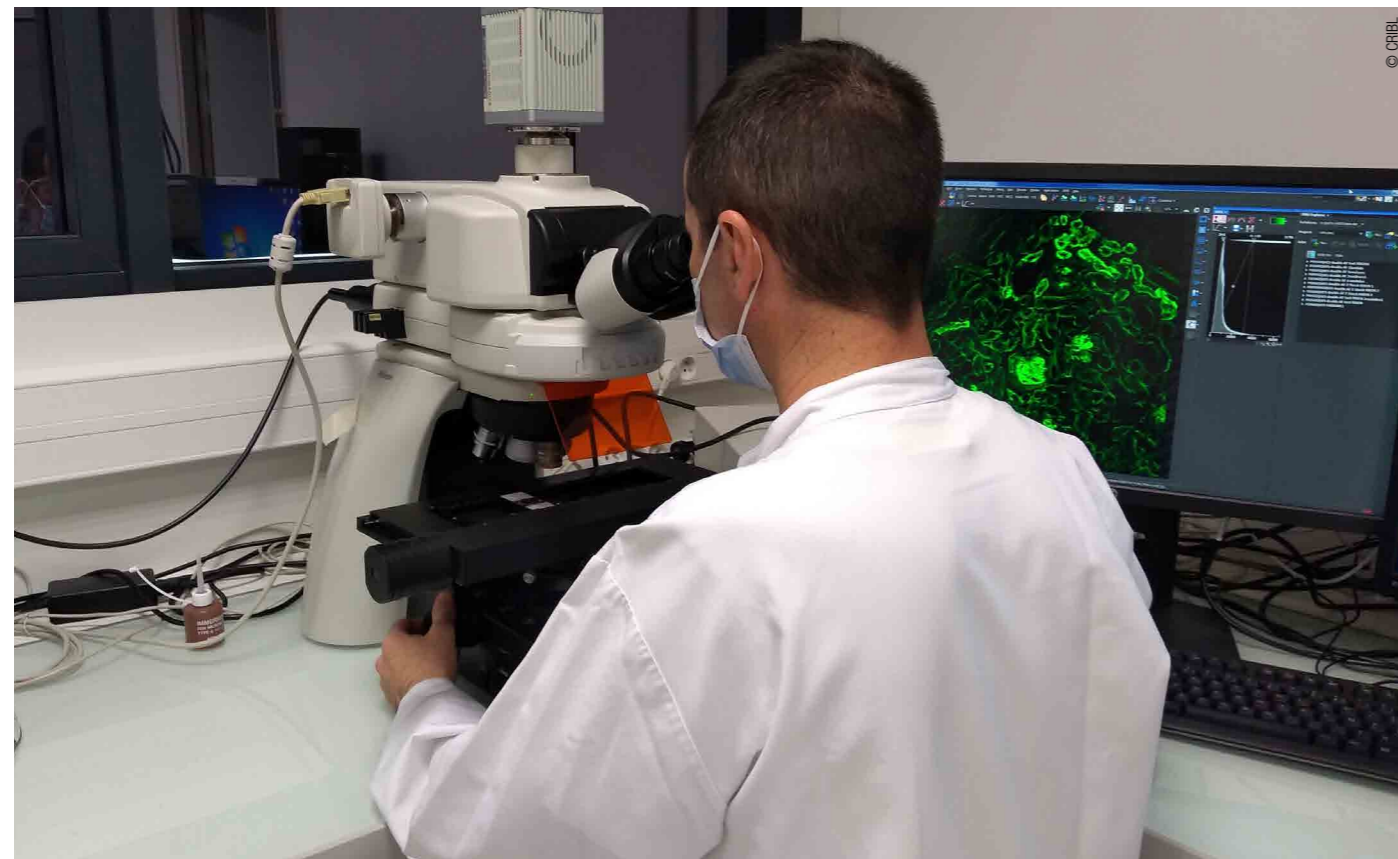
Outre la modélisation de ces pathologies, le CRIBL a développé une expertise sur l'identification et l'étude de ces Igs monoclonales. Le séquençage que réalise le laboratoire depuis de nombreuses années a permis de déterminer des caractéristiques spécifiques de la séquence des chaînes légères impliquées dans le syndrome de Fanconi. Plus récemment, il a développé un nouvel outil pour analyser en haut-débit les séquences des Igs des patients. Cette approche permet de détecter le clone plasmocyttaire de façon beaucoup plus sensible que les analyses de laboratoire traditionnelles. Grâce à cet outil, le CRIBL a découvert des mutations récurrentes et non décrites dans une maladie très complexe, le syndrome POEMS, aidant les cliniciens dans l'établissement du diagnostic de ce syndrome mais aussi dans le choix du traitement le plus approprié.

Par ailleurs, le CRIBL développe avec une entreprise américaine, Attralus inc., une nouvelle approche thérapeutique pour le traitement des amyloses AL qui vise non plus à cibler le clone plasmocyttaire mais à éliminer activement les dépôts d'Igs dans les organes. Pour cela, le laboratoire a créé et breveté une protéine de fusion associant une protéine connue pour son affinité naturelle aux dépôts d'amylose et un fragment d'anticorps (Fc) permettant l'élimination de l'amylose par les macrophages. La validation préclinique de cette molécule est presque finalisée et le laboratoire espère pouvoir lancer les premiers essais cliniques chez l'Homme d'ici la fin de l'année de 2021.

Sébastien BENDER < CRIBL
sebastien.bender@unilim.fr

Christophe SIRAC < CRIBL
christophe.sirac@unilim.fr

<https://www.unilim.fr/cribl/>



Analyse par microscopie de fluorescence d'une coupe de rein de souris transgénique.

Exposition professionnelle aux pesticides et augmentation du risque leucémique

Pour faire définitivement le lien entre pesticides et leucémie, des chercheurs tourangeaux ont réuni au sein d'une seule et même étude des milliers de résultats.



La moelle osseuse est l'organe qui produit des cellules sanguines. La leucémie aiguë myéloïde (LAM) est une affection grave se développant au sein de celle-ci, alors envahie par des cellules leucémiques. Depuis les années 80, un impact des pesticides sur le risque de LAM est suspecté. Les multiples études réalisées n'ont toutefois pas pu le prouver définitivement en raison du faible nombre de personnes qu'elles comptabilisaient, des différences dans leur conception et donc leurs résultats. L'interprétation globale de ces travaux reste donc difficile et l'utilisation d'une méthode de synthèse (ou globalisation) de données nommée « méta-analyse » a permis de les regrouper et de démontrer l'existence d'un lien entre l'exposition aux pesticides et la survenue d'une LAM.

Les pesticides sont définis par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme « tout agent chimique utilisé pour tuer des parasites incluant les insectes, rongeurs, champignons et plantes indésirables ». Ils regroupent un nombre considérable de molécules classées selon les toxicités observées à court terme sur des rats (de « extrêmement dangereux » à « légèrement dangereux »).

UNE RELATION DIFFICILE À ÉTABLIR

Pour rechercher un lien entre pesticides et cancer, il n'est pas envisageable d'organiser une étude incluant l'ensemble des habitants d'un pays voire d'un continent. Il est toutefois possible de mesurer le

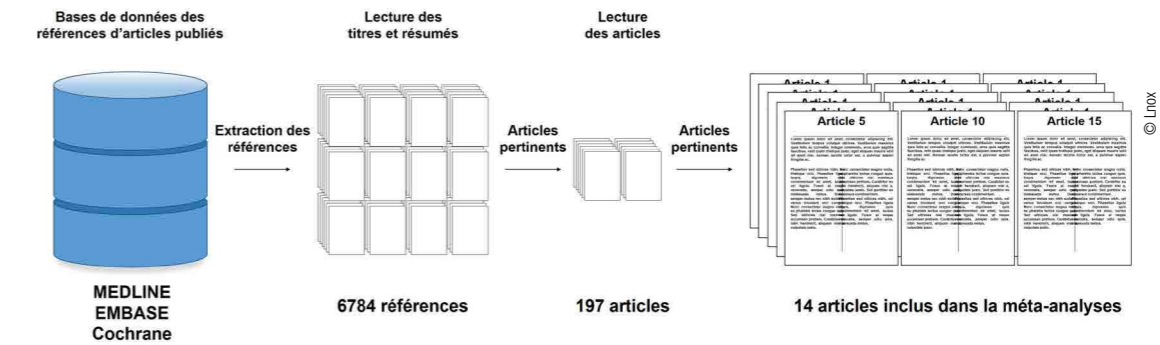
risque de survenue de cancer en fonction des facteurs d'exposition à partir d'un groupe « échantillon » de cette population. Le risque dans la population globale est ensuite estimé à partir de ce risque mesuré dans l'échantillon. D'une étude à l'autre, la définition de l'exposition aux pesticides et la méthode de sa quantification peuvent varier. Chaque étude doit en outre prendre en compte tous les autres facteurs influençant le risque de cancer, en plus de celui étudié. Ces éléments expliquent la variabilité de l'estimation du risque global obtenu à partir de méthodes et d'échantillons différents.

L'ESTIMATION PRÉCISE DU RISQUE

Les facteurs de risque connus de LAM sont : une exposition aux rayonnements ionisants ou au benzène, un antécédent de traitement par chimiothérapie ainsi que la trisomie 21. Concernant l'exposition aux pesticides, quelques études suggèrent une augmentation du risque de LAM chez les sujets exposés, alors que d'autres ne le mettent pas en évidence. Étant donné que la précision du risque estimé dans la population générale dépend du nombre de sujets étudiés, il est intéressant de regrouper les études pour augmenter l'effectif afin d'améliorer la précision de l'estimation et obtenir une vision générale du risque.

LA MÉTA-ANALYSE, UN OUTIL DE SYNTHÈSE

Intuitivement, additionner les résultats de ces études permettrait d'obtenir cette vision globale. Cependant, le résultat final doit prendre en



Étapes permettant l'identification puis la sélection d'articles pertinents à inclure dans la méta-analyse. Une recherche par mots-clés est réalisée à l'aide de bases de données référençant les publications scientifiques. Les résultats de la recherche sont extraits sous format titre et résumés. La lecture de ces derniers permet de sélectionner les articles pertinents. Dans un second temps, une lecture complète des articles pertinents est réalisée afin d'identifier les articles correspondant aux critères d'inclusion de la méta-analyse.

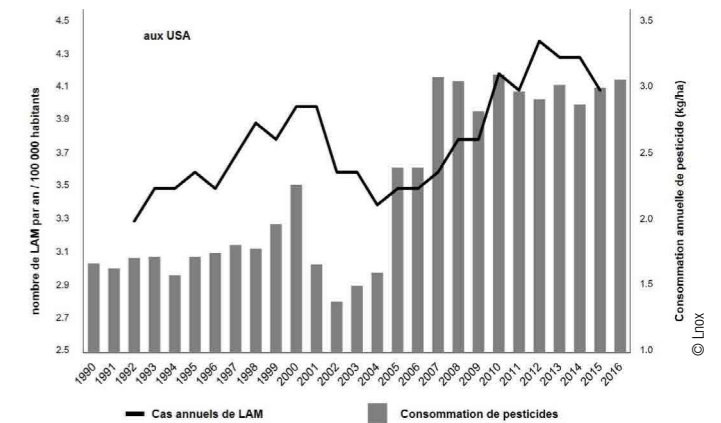
compte la précision de chaque étude afin de calculer le risque global. En d'autres termes, plus une étude est précise, plus elle aura du poids dans le résultat final. Une méta-analyse permet de sélectionner les études pertinentes et de réaliser cette opération. La première étape est de recueillir les données de façon exhaustive. Pour ce faire, un ensemble de mots-clés est utilisé afin de rechercher le maximum de références potentiellement intéressantes pour ce travail. Ensuite la lecture des titres, résumés et articles permet de ne sélectionner que ceux qui correspondent à la question posée. C'est pourquoi, le nombre d'études utilisées dans une méta-analyse est souvent largement inférieur aux études initialement identifiées par mots-clés. Une fois les études sélectionnées, les données concernant les caractéristiques et les résultats des études sont extraites des articles. Le calcul du risque global peut alors être réalisé.

"... les données de 3955 patients atteints de LAM et de 9948 sujets sains."

DES MILLIERS DE DONNÉES RÉUNIES

La recherche par mots-clés dans 3 bases de données (MEDLINE, EMBASE et Cochrane) a identifié 6784 références. Après une lecture des titres et résumés, seuls 197 articles étaient pertinents. La revue complète des 197 références a permis d'en retenir 14 dans la méta-analyse. Compte-tenu du risque d'erreur lors de la sélection des articles, chaque étape a été réalisée indépendamment par deux investigateurs. Leurs résultats ont été confrontés avant de décider de la sélection ou non d'un article. Les informations pertinentes concernant la méthodologie et les résultats ont été extraites (risque de LAM en cas d'exposition aux pesticides, zone géographique, période d'inclusion des sujets, méthode d'évaluation de l'exposition aux pesticides, prise en compte de facteurs de confusion, etc.). Les chercheurs de LNOx ont ainsi pu regrouper les données de 3955 patients atteints de LAM et de 9948 sujets sains. À partir de celles-ci, il leur a été ensuite possible de calculer le risque global de LAM en cas d'exposition aux pesticides sur l'ensemble de la population.

Ainsi, en considérant un risque de LAM à 1 pour une population non exposée, LNOx a observé une augmentation du risque à 1,5 (entre 1,1 et 2,1) en cas d'exposition. Cette augmentation du risque était notamment plus importante dans les populations asiatiques et surtout en cas d'exposition aux insecticides.



Fréquence des LAM en fonction de la consommation en pesticides aux USA depuis les années 90. La consommation annuelle en pesticides aux USA est corrélée avec le nombre de nouveaux cas (incidence) de LAM depuis les années 90.

La méta-analyse permettant de synthétiser l'ensemble des données disponibles à un instant donné de la recherche, la comparaison des proportions de LAM selon l'exposition aux pesticides a mis en évidence un lien entre l'exposition professionnelle (fortes doses) aux pesticides et le risque de LAM. Ce lien est renforcé par la mise en évidence d'une corrélation entre l'incidence des LAM et la consommation de pesticides depuis 1990 aux USA. Ces résultats interrogent sur les effets d'une exposition chronique de la population générale à de faibles doses de pesticides. Le projet de recherche PeNiCa (« Pesticides Niche et Cancer ») réalisé par le réseau NET « Niches et Epigénétique des Tumeurs » du Cancéropôle Grand-Ouest devrait apporter des éléments de réponse. Cette étude, publiée en 2021 dans Scientific Reports, identifie un nouveau facteur de risque de LAM. Elle enrichit la réflexion sur la reconnaissance des LAM en maladies professionnelles chez les sujets exposés aux fortes doses de pesticides, et sur les distances minimales entre zone d'épandage et maison d'habitation des riverains.

Amélie FOUCAULT < LNOx
amelie.foucault@univ-tours.fr

Nicolas VALLET < LNOx
nicolas.vallet@etu.univ-tours.fr

Olivier HERAULT < LNOx
olivier.herault@univ-tours.fr

www.lnox-team.org

L'optimisation des retardateurs de flamme, un enjeu pour les matériaux biocomposites

L'amélioration de la connaissance des propriétés physiques et chimiques des matériaux a permis de les combiner pour créer des matériaux biocomposites. L'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers participe à l'étude de leur comportement au feu pour limiter le risque incendie.



Exemple d'utilisation de matériau biocomposite à renfort lin dans l'industrie automobile

Un matériau composite associe une matrice (polymère) et un renfort (fibre) ce qui lui confère des propriétés mécaniques supérieures à celles des deux composants seuls. Les matériaux composites combinant une résine de synthèse à des fibres de verre ou de carbone sont ainsi très utilisés dans les industries automobile et aéronautique ou encore la course nautique. Le bois qui est constitué de fibres de cellulose enrobées de lignine est par ailleurs un exemple de matériau composite naturel. L'utilisation de constituants dits biosourcés, c'est-à-dire issus de la biomasse végétale, pour la fabrication des matériaux composites, est intéressante d'un point de vue écologique. En effet, contrairement à ceux issus de la pétrochimie, ces matériaux sont renouvelables et présentent un bilan carbone favorable.

Les matériaux biocomposites, c'est-à-dire renforcés par des fibres naturelles, offrent de nombreuses possibilités grâce à leurs caractéristiques exceptionnelles : faible poids, résistance mécanique élevée et très bon comportement face à la corrosion. Leur utilisation en milieu industriel reste cependant limitée du fait des problèmes de sécurité en cas d'incendie. Par exemple, les polymères à base d'hydrocarbures (vulgairement appelés plastiques) et les fibres naturelles se consomment rapidement en libérant des fumées toxiques et en produisant de la chaleur.

UNE BARRIÈRE CHIMIQUE COUPE-FEU

Le traitement de ces matériaux biocomposites par des retardateurs de flamme est donc nécessaire pour une utilisation industrielle sécurisée. Il s'agit d'ajouter des composés chimiques qui permettent ainsi de protéger le matériau contre les incendies sans dégrader ses propriétés. Les composés bromés, généralement utilisés comme retardateurs de flamme, sont suspectés d'être nocifs pour l'homme et l'environnement. Les retardateurs de flamme intumescents représentent une alternative prometteuse à ces molécules halogénées.

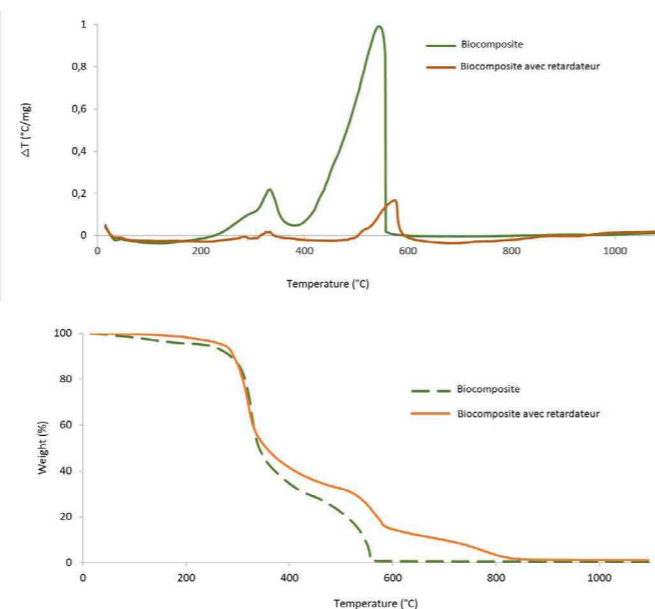
Dans le cas de l'exposition à une source de chaleur, le revêtement par un retardateur de flammes intumescent agit comme une barrière coupe-feu entre le matériau et la source d'incendie. Ce type de retardateur est capable de s'épaissir sous l'effet de la chaleur, offrant ainsi une protection qui permet aux secours un gain de temps précieux pour organiser les opérations d'évacuation.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, un matériau solide ne brûle pas directement. En effet, lorsque la surface d'un matériau est chauffée de manière homogène ou hétérogène, le transfert thermique induit une augmentation de sa température. Lorsque celle-ci atteint une valeur seuil, le matériau subit une dégradation thermique et se décompose en produisant des gaz inflammables - composés organiques volatils (COV), c'est ce que l'on appelle le phénomène de pyrolyse. En fonction de la perméabilité du matériau, ces COV vont se diffuser dans l'atmosphère (phénomène de perméation). Au contact d'un milieu riche en oxygène, ces gaz peuvent s'enflammer. La flamme ainsi produite devient alors la source de chaleur qui entraîne la propagation de l'incendie et la combustion du matériau.

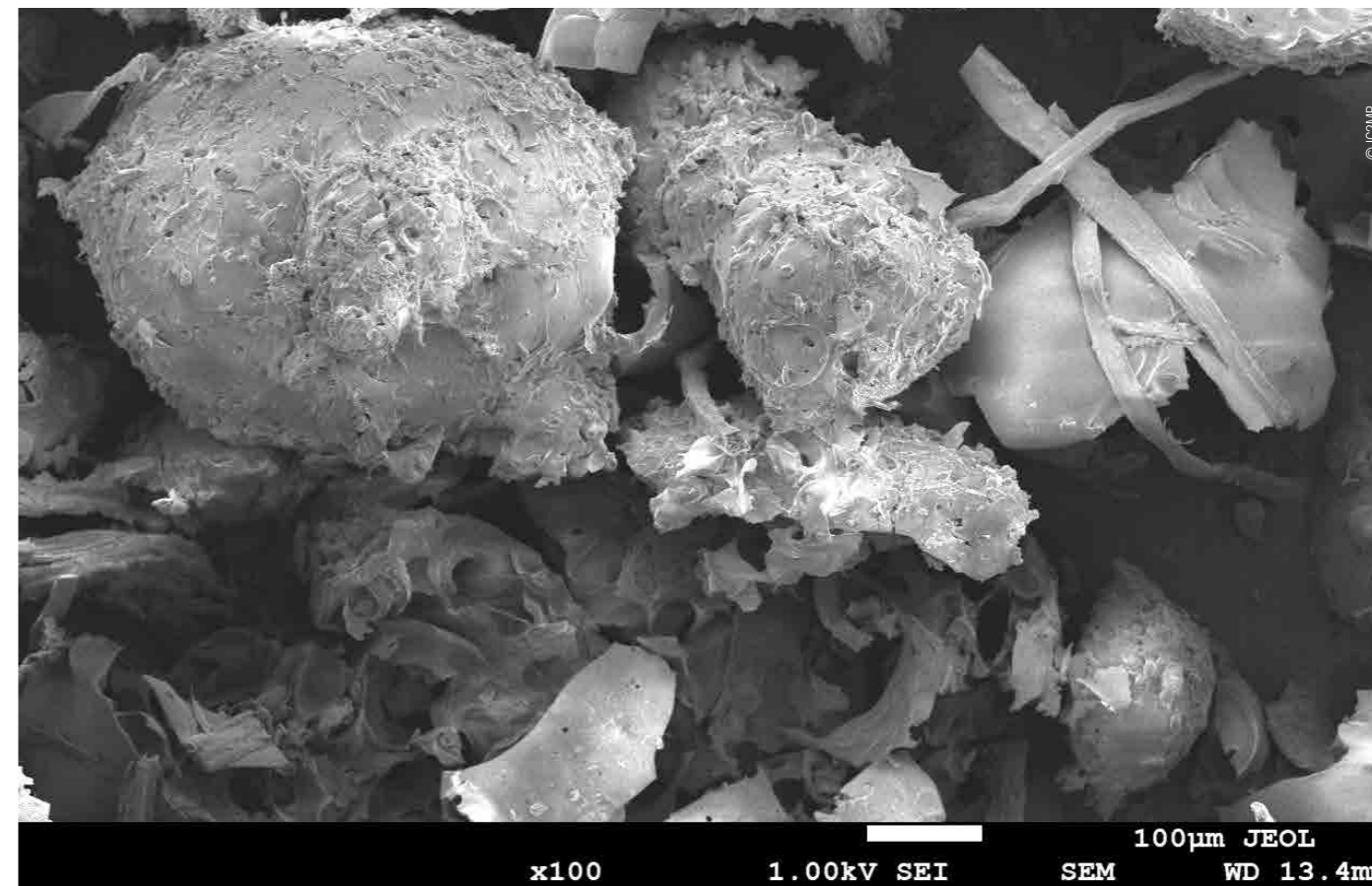
"...observer l'effet de la composition du matériau sur sa résistance thermique et ... modéliser sa dégradation."

UNE ÉTUDE MULTI-ÉCHELLES

Le matériau biocomposite étudié dans le cadre d'une collaboration entre des chimistes de l'IC2MP¹ et des spécialistes de la combustion du Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Ener-



Analyses thermiques différentielle et gravimétrique réalisées à l'IC2MP permettant d'observer la dégradation du matériau avec la température



Intumescence du retardateur observée par microscopie électronique à balayage à l'IC2MP

gétique (PRISME)², associe une résine époxy (polymère thermodurcissable) à des fibres de lin. Sa surface est recouverte d'un retardateur intumescent à base de polyphosphate d'ammonium et d'acide borique. L'objectif de l'étude est d'analyser le comportement de ces biocomposites à l'échelle matière (de l'ordre du milligramme - millimètre), à l'échelle matériau (gramme - centimètre) et à l'échelle produit (kilogramme - mètre). Il s'agit notamment d'optimiser la composition du revêtement intumescent en observant son impact sur les émissions gazeuses et sur la résistance au feu du matériau.

À l'échelle matière, les composés organiques volatils libérés sous l'effet de la température sont étudiés par pyrolyse couplée à la chromatographie et à la spectrométrie de masse afin de connaître d'une part, la toxicité des fumées produites en cas d'incendie et d'autre part, de déterminer leur rôle dans l'inflammabilité du matériau. Ainsi, la présence de benzène et de phénol, composés hautement toxiques, détectés en forte quantité à 900°C interdit l'utilisation de ce matériau à très haute température. Les analyses thermiques différentielle et gravimétrique permettent d'observer l'effet de la composition du matériau sur sa résistance thermique et de modéliser sa dégradation. Les modifications du matériau à l'échelle du nanomètre, telles que l'augmentation de volume du retardateur dès 350°C et la dégradation de la fibre à partir de 750°C sont observées par microscopie électronique à balayage.

D'autres études expérimentales sont réalisées à l'échelle du matériau et à l'échelle du produit afin de répondre aux normes obligatoires en matière d'incendie. Tout cela dans l'objectif de caractériser le temps d'ignition, la puissance du feu, la perte de masse ou encore le comportement morphologique du matériau.

Ce travail collaboratif a pour but de comprendre les mécanismes nécessaires à la propagation d'un feu à différentes échelles. La caractérisation moléculaire

permet d'observer ces phénomènes à l'échelle matière, très peu explorée jusqu'à présent. Les outils de caractérisation thermiques de l'IC2MP sont ainsi depuis une dizaine d'années au centre de collaborations avec PRISME pour les feux de matériaux et l'Institut PPRIME³ pour les feux de forêts. Ils permettent en particulier, de déterminer la nature des gaz libérés lors de l'étape de pyrolyse par les matériaux naturels ou synthétiques et de mieux appréhender leur rôle dans l'inflammation et la combustion du matériau. L'objectif à moyen terme, de cette étude interdisciplinaire, est de modéliser les phénomènes incontrôlés et dangereux (tel que le phénomène de feux de forêt accéléré, ...) afin de proposer des mesures de protection efficaces pour les équipes de secours.

Laurent LEMEE < IC2MP

Laurent.lemee@univ-poitiers.fr

Christelle ROUDAUT < IC2MP

Christelle.roudaut@univ-poitiers.fr

Julie ROUSSEAU < IC2MP

Julie.rousseau@univ-poitiers.fr

<https://ic2mp.labo.univ-poitiers.fr/>

¹ UMR 7285 CNRS / Université de Poitiers

² EA 4229 INSA / Université d'Orléans

³ UPR CNRS 3346 en partenariat avec l'Université de Poitiers et l'ISAE-ENSMA

L'ammoniac : en couple avec l'hydrogène

Dans la compétition qui se dessine autour de l'hydrogène, l'ammoniac a une place toute particulière, insoupçonnée du grand public, dans le stockage et le transport de cette énergie décarbonée.



La doctorante engagée sur le projet NEO AMMONIA réalise des réglages dans le montage catalytique réalisé à l'IC2MP.

Pour l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP UMR 7285 CNRS/Université de Poitiers), il s'agit de comprendre comment l'ammoniac peut être produit et décomposé dans des conditions plus douces et devenir un des vecteurs énergétiques du futur dans cette révolution de la transition énergétique.

UN VIEUX PROCÉDÉ TOUJOURS D'ACTUALITÉ

Le procédé industriel Haber-Bosch consiste à produire la molécule d'ammoniac (NH_3) à partir de diazote (N_2) et de dihydrogène (H_2). Développé en 1913 par Fritz Haber, ce procédé à l'origine de l'essor de la catalyse hétérogène a permis d'industrialiser le principe de fixation de l'azote de l'air à un coût économiquement raisonnable. L'ammoniac est le deuxième composé chimique le plus produit au monde, avec environ 178 millions de tonnes par an. Le procédé Haber-Bosch permet encore aujourd'hui, via l'utilisation d'engrais azotés, d'alimenter 40% de la population mondiale. Après plus d'un siècle, il est remarquable de s'apercevoir que la formulation catalytique d'origine n'a que peu évolué. C'est un catalyseur à base de fer qui reste l'élément clé dans la plupart des unités de production existantes dans le monde. On ne compte pourtant plus les travaux qui se sont succédés pour comprendre dans les moindres détails les mécanismes qui

permettent à ce catalyseur de rompre la liaison entre les deux atomes d'azote constitutifs du diazote, l'étape « clé » du processus de transformation du diazote et du dihydrogène en ammoniac. Les recherches montrent pourtant un regain d'intérêt depuis que l'ammoniac est envisagé comme une solution de stockage et de transport de l'hydrogène. La molécule présente en effet les avantages d'être décarbonée, d'avoir un pourcentage massique en hydrogène élevé (17,6% de la masse de la molécule est de l'hydrogène). Elle est enfin facilement liquéfiable (-33 °C à pression atmosphérique ou 20 °C à 8,5 bar) et donc transportable.

RENDRE L'AMMONIAC MOINS ÉNERGIVORE

A l'heure de la transition écologique et énergétique, le procédé Haber-Bosch n'a cependant plus la cote. Il est en effet à l'origine de 1,8 à 2% de la consommation énergétique mondiale et contribue à 1,8% de la totalité du CO_2 rejeté dans l'atmosphère, responsable de l'effet de serre. Deux raisons expliquent cela : le dihydrogène utilisé pour la réaction est généré à partir de gaz naturel fossile via la réaction de vaporeformage opérée au-dessus de 800°C ; la réaction de synthèse de l'ammoniac nécessite des hautes températures (500 à 600°C) pour augmenter la vitesse de réaction des molécules et des très hautes pressions

(100 à 200 bars) pour atteindre des rendements acceptables. Trouver un moyen de produire NH_3 sans impact négatif sur l'environnement (ammoniac vert) est donc crucial. Dans l'optique de l'utilisation de l'ammoniac comme molécule de stockage de l'hydrogène, la décomposition catalytique de l'ammoniac doit également être économe en énergie.

"...limiter fortement le coût environnemental de la synthèse de l'ammoniac..."

Deux solutions permettraient de limiter fortement le coût environnemental de la synthèse de l'ammoniac : produire un dihydrogène vert (décarboné) à partir de l'électrolyse de l'eau alimenté par des énergies renouvelables ; développer un catalyseur permettant de réaliser la réaction de synthèse de l'ammoniac à plus basses températures et plus basses pressions.

Depuis 10 ans, des chercheurs de l'IC2MP s'intéressent au développement de nouveaux catalyseurs avec pour objectif d'obtenir des rendements intéressants en ammoniac dès 300°C et 10 bars. Ils étudient en particulier les mécanismes réactionnels impliqués sur la surface ou dans le cœur de ces nouveaux matériaux pour améliorer leurs performances. Cette compréhension passe par la mise en œuvre de techniques originales et spécifiques comme l'emploi d'isotopes et le suivi des performances catalytiques en continu ou de manière transitoire.

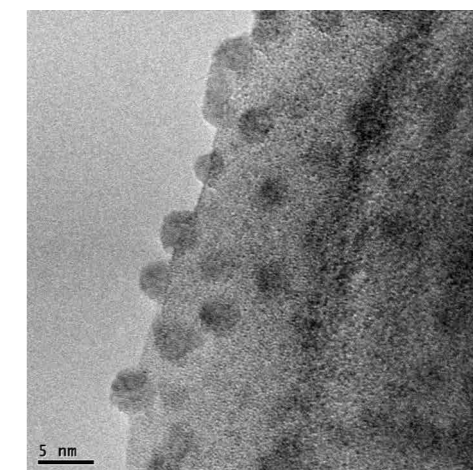


Échantillons destinés à la synthèse de l'ammoniac.

La reconnaissance internationale de l'IC2MP dans ces recherches sur la catalyse de l'ammoniac a amené les chercheurs de Poitiers à être sollicités par des laboratoires des universités de Louvain-la-Neuve (Belgique), de Glasgow (Écosse) et plus récemment par l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB).

DES NOUVEAUX CATALYSEURS PROMETTEURS

Les recherches à l'IC2MP sont conduites actuellement sur deux familles de catalyseurs, les phases intermétalliques et les phases nitrures. Les composés intermétalliques développés à l'ICMCB sont encore peu utilisés en catalyse hétérogène. Pour la réaction de synthèse de l'ammoniac ils s'avèrent pourtant extrêmement prometteurs. Par exemple, des solides composés de lanthane, de scandium et de silicium (LaScSi) sur lesquels sont déposées des nanoparticules de ruthénium apparaissent comme une alternative émergente et en rupture, permettant



Composé LaScSi sur lequel sont déposées des particules de ruthénium de 5 nm de diamètre.

de produire NH_3 à pression atmosphérique et à température modérée. Dans ces nouveaux matériaux, LaScSi vient aider les particules de ruthénium (Ru) à dissocier la molécule de N_2 en leur apportant un excès d'électrons. Par ailleurs, LaScSi est capable de stocker de l'hydrogène, libérant ainsi la surface des particules de ruthénium de sa présence. L'un des challenges est d'optimiser, lors de la préparation des catalyseurs, l'interface entre les nanoparticules de Ru et le solide LaScSi afin de limiter la teneur en Ru qui est un métal coûteux.

Les composés de type nitrure, par exemple le nitrure de cobalt-molybdène (CoMoN), sont étudiés depuis plus longtemps que les phases intermétalliques en synthèse de l'ammoniac. Les travaux issus de la collaboration entre l'IC2MP et la School of Chemistry de l'Université de Glasgow ont cependant apporté un regard différent sur leur fonctionnement. Un nouveau mécanisme catalytique a été mis en évidence sur ces solides avec participation des atomes N du solide CoMoN dans la formation de NH_3 . Ces propriétés ouvrent la voie vers un nouveau procédé de synthèse de l'ammoniac en 2 étapes, appelé chemical looping : la première étape consiste à produire l'ammoniac par réaction des atomes N des phases nitrures avec H_2 gazeux ; la seconde étape permet de régénérer, sous flux de N_2 , les atomes N du solide qui ont été consommés pour former l'ammoniac. Ce système permettrait d'augmenter les rendements en ammoniac à basse pression.

Un dernier axe de recherche auquel s'intéresse l'IC2MP concerne la synthèse électrochimique de l'ammoniac. Ce procédé permet de synthétiser l'ammoniac à température ambiante mais les rendements obtenus actuellement restent modestes. Les avancées décrites précédemment pourraient cependant s'avérer cruciales pour relever ce nouveau challenge.

Charlotte CROISÉ < IC2MP
charlotte.croise@univ-poitiers.fr

Nicolas BION < IC2MP
nicolas.bion@univ-poitiers.fr

Fabien CAN < IC2MP
fabien.can@univ-poitiers.fr

<https://ic2mp.labo.univ-poitiers.fr/>

Ce projet est soutenu par l'ANR (projet Intermetallist) et par la Région Nouvelle Aquitaine (projet Néo Ammonia).

La climatisation passive, une solution à la surconsommation énergétique

La production de froid est aussi énergivore que celle de chaleur. Avec la généralisation des systèmes de rafraîchissement des bâtiments, des dispositifs capables de rester plus froid que leur environnement, même en plein soleil, sont à l'étude.



D'après les dernières estimations de l'Agence Internationale de l'Énergie, plus de deux milliards de climatiseurs sont utilisés dans le monde, ce qui représentent environ 10% de la consommation mondiale d'électricité. Or, avec l'inévitable réchauffement climatique, le nombre de climatiseurs devrait augmenter de plus de 50% en 10 ans et même atteindre le chiffre record de 6 milliards d'unités en 2050. Se pose alors la question de la consommation énergétique associée à ces installations qui produisent du froid mais aussi celle de l'émission des gaz à effet de serre liée aux technologies actuellement utilisés pour produire du froid. Il devient donc crucial de développer des solutions alternatives. La conception d'un matériau qui se refroidit de manière passive, sans apport d'énergie externe est l'une des options. Cette climatisation passive repose sur le principe d'un système de refroidissement radiatif qui évacue la chaleur des objets à la surface de la terre directement vers l'espace.

La thermodynamique nous enseigne que l'évacuation de chaleur à partir d'une source chaude est d'autant plus forte que l'on dispose d'une source froide à basse température. Or la température de l'espace peut descendre jusqu'à 3K (-270°C) ...

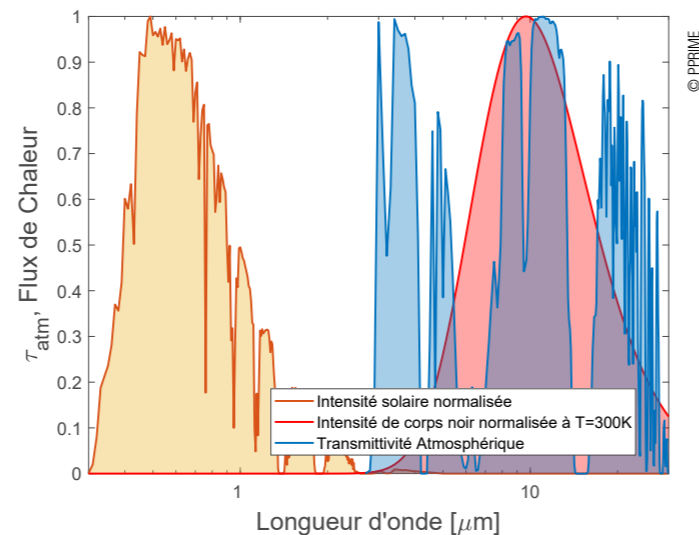
Mais comment d'interagir avec une telle source de froid ? Tout simplement en évacuant la chaleur à la surface de la terre par rayonnement thermique, en traversant l'atmosphère. Le rayonnement thermique est un moyen de transférer la chaleur sans contact par l'intermédiaire de radiations infrarouges. Or l'atmosphère est transparente pour les radiations émises par les corps et objets à la surface de la terre. Un corps peut ainsi être refroidi simplement parce que sa chaleur est envoyée dans l'espace. C'est ce qu'on appelle le refroidissement radiatif passif. Ce phénomène physique s'observe très régulièrement lors d'une nuit sans nuages : givre sur les parebrises de voitures, sur la végétation, même si la température ambiante est restée au-dessus de 0°C.

Mais pour envisager ce mode de refroidissement en journée un problème de taille devait être surmonté : le soleil... En effet, si les corps à la surface de la terre évacuent 24H/24 leur chaleur vers l'es-

pace, ils se réchauffent tout de même en absorbant le rayonnement solaire. D'un point de vue théorique, un refroidissement radiatif diurne sera fortement favorisé si l'objet visé par cette application réfléchit fortement le rayonnement solaire et évacue par rayonnement thermique sa chaleur.

UN REVÊTEMENT RÉFLÉCHISSANT DANS LE VISIBLE ET FORTEMENT ÉMETTANT DANS L'INFRAROUGE

Pour obtenir ce refroidissement, une première stratégie consiste à utiliser une couche capable de réfléchir au maximum le rayonnement solaire, telle que l'argent, et la coupler à des couches d'oxydes ou de polymères pour maximiser l'émission de chaleur dans l'infrarouge.



Spectre du rayonnement solaire, du rayonnement thermique infrarouge d'un corps noir à 300 K et spectre de transmission de l'atmosphère.

" Un m² de ce revêtement permet de produire 90 Watts de froid."

Un exemple très simple est l'assemblage d'une couche d'argent avec une couche de verre qui est un très bon émetteur de chaleur dans l'infrarouge. Un m² de ce revêtement permet de produire 90 Watts de froid. Pprime s'est ainsi intéressé au design de refroidisseurs radiatifs basés sur l'empilement de couches minces nanostructurées et a montré qu'il était possible d'augmenter l'émission thermique d'un revêtement constitué d'une couche de silice déposée sur un substrat d'argent en gravant des motifs de taille micrométrique à la surface de ce système. L'ajout de ces motifs en surface doit permettre de gagner plus de 25% de puissance de refroidissement.

UNE LAINE DE VERRE COMME REVÊTEMENT

Pprime s'est aussi intéressé au développement de revêtement composés uniquement de nanofibres de silice. L'avantage de ce système

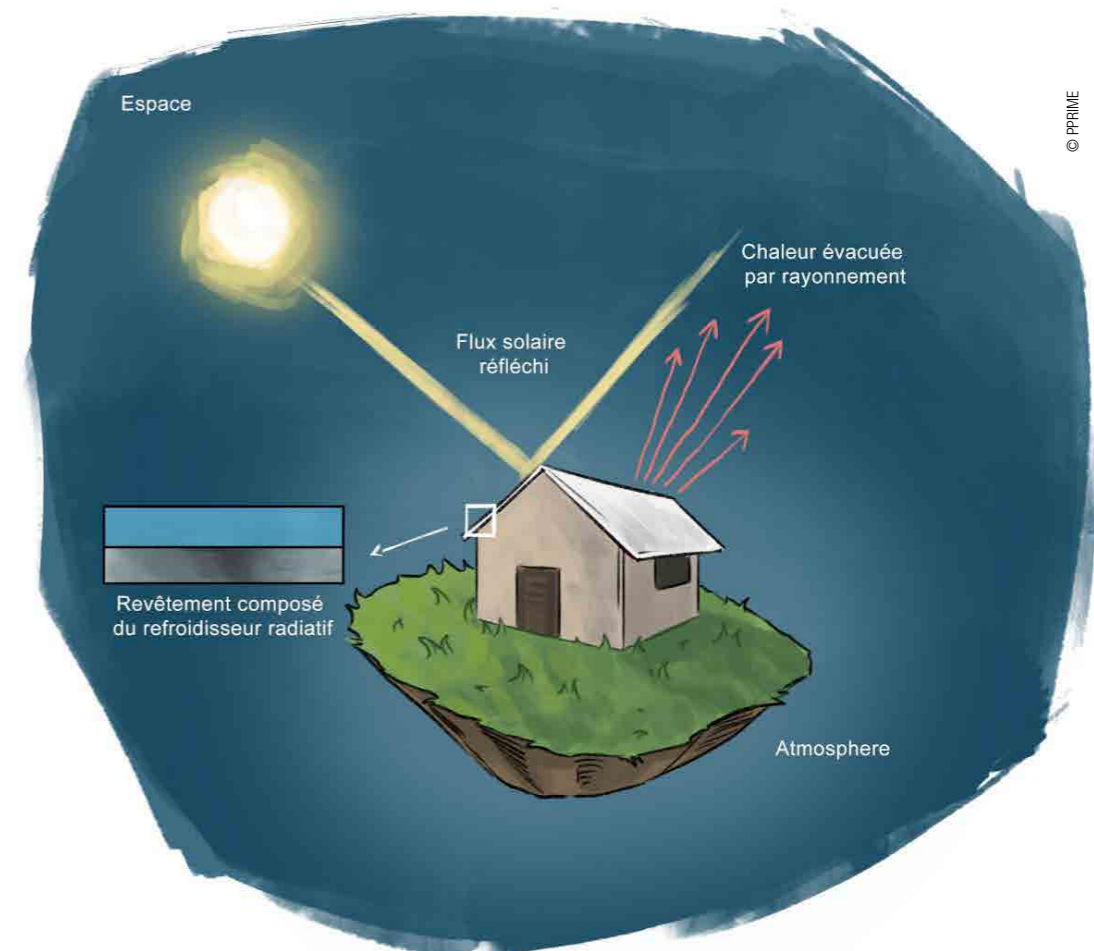


Illustration du principe de refroidissement radiatif diurne.

réside dans le fait qu'il est autoportant et composé uniquement de silice. Un tel revêtement doit permettre d'atteindre des puissances de refroidissement de l'ordre de 180 W.m⁻².

QUEL AVENIR POUR CES REVÊTEMENTS ?

La question de la fabrication à grande échelle et de la soutenabilité économique de tels revêtements est évidemment importante. Si les processus de gravure de motifs micrométriques à la surface des revêtements sont actuellement difficilement envisageables à l'échelle d'un bâtiment, la fabrication de fibres de silice nanométriques l'est si on est capable de gagner un ordre de grandeur sur le diamètre des fibres qui dépend de la capacité à faire passer de la silice fondue au travers d'une buse de quelques centaines de nm de diamètre. Un tel processus de fabrication, proche de celui de la laine de verre, permettrait une production à bas coût.

Une autre question est l'acceptabilité esthétique de tels revêtement qui doivent être le plus « blanc » possible pour réfléchir au maximum le rayonnement solaire. Développer des revêtements colorés est néanmoins envisageable tout en conservant des performances de refroidissement honorables comme l'ont montré deux études récentes du laboratoire où la colorisation peut être obtenue en incorporant des nanoparticules métalliques dans des fines couches de verre

Si beaucoup reste à faire pour ajuster les propriétés optiques de matériaux composites aux conditions optimales du refroidissement radiatif et pour trouver un procédé industriel de fabrication très peu onéreux, il reste que ce procédé passif offre une option très intéressante sur le plan énergétique pour le management thermique des objets.

Jérémy DRÉVILLON < PPRIME
jeremie.drevillon@univ-poitiers.fr

Karl JOULAIN < PPRIME
karl.joulain@univ-poitiers.fr

Refet ALI YALÇIN < PPRIME
refet.ali.yalcin@univ-poitiers.fr

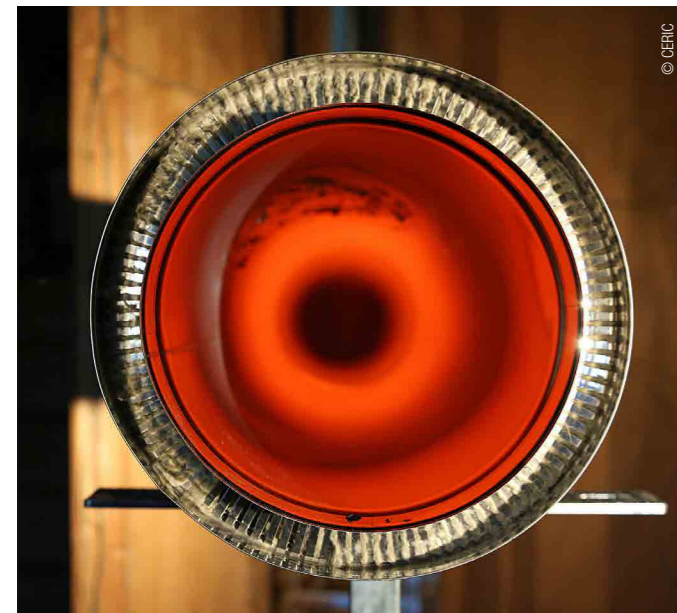
<https://pprime.fr/>

Prévenir et se protéger des feux dans les conduits de cheminée

L'Institut Pprime et la société Pujoulat unissent leurs moyens expérimentaux et leurs compétences dans la mise au point de modèles numériques qui faciliteront le développement de produits innovants.

Historiquement, les conduits de fumée ont été intégrés dans les bâtiments d'habitation pour satisfaire aux besoins que sont le chauffage et la cuisson des aliments. Au fur et à mesure du temps, la technologie des appareils de combustion et la conception des cheminées (acier, maçonnerie, céramique...), ont évolué apportant toujours plus de sécurité dans l'habitat. Pour autant, entre 2010 et 2017, les incendies dans les conduits de cheminée ont représenté environ 6 % des causes de départ d'incendie dans les bâtiments d'habitation, que ce soit en Europe ou en Amérique du Nord. Avec la croissance de la filière bois-énergie, dont l'activité a doublé depuis dix ans, l'optimisation des conduits d'extraction de fumées est un enjeu fort de la sécurité incendie.

Aujourd'hui, le conduit de fumée fait partie intégrante du bâtiment, notamment de par son interaction étroite avec le bâtiment pour répondre aux nouveaux besoins : performances énergétiques, économies d'énergie ou développement des énergies renouvelables. Ceci entraîne la révision des normes afin de prendre en compte l'ensemble des risques de naissance et de propagation du feu.



Essais de tenue thermique d'un conduit.

LA PROBLÉMATIQUE : LA PROPAGATION

Deux scénarii de propagation au feu impliquant des conduits de cheminée sont avérés. Le plus connu correspond au développement du feu à l'intérieur de l'installation de chauffage. Il peut se déclarer au sein de la chambre de combustion de l'appareil de combustion ou dans le conduit d'évacuation de fumée. Le risque est généré par la transmission de la chaleur aux matériaux combustibles situés à proximité du conduit, tels que les éléments de charpente ou de plancher du bâtiment résidentiel (bois en occurrence).

Le second concerne un incendie dans la pièce où se situe le conduit

de fumée qui sert alors de vecteur de propagation de l'incendie à des pièces voisines, par la traversée de paroi, qu'elle soit verticale ou horizontale.

UN PARTENARIAT DE PRÈS DE 10 ANS

Cheminées Pujoulat est le leader européen des conduits de cheminée et sorties de toit en inox destinés à la maison individuelle, au logement collectif, au tertiaire et à l'industrie en neuf comme en rénovation. Il a créé son propre laboratoire, le CERIC, il y a plus de 30 ans. Celui-ci développe, teste et valide l'ensemble des éléments de la combustion (combustibles, conduits et appareils) au travers de ses trois activités principales : la recherche appliquée, le développement de produits et le suivi qualité.

"...des produits innovants permettant de prévenir les feux dans les habitats..."

L'Institut Pprime¹ conduit une recherche de renommée internationale dans le domaine de la sécurité incendie : décomposition thermique des solides, inflammation des solides, propriétés d'inflammabilité et de combustibilité, dynamique des feux et de propagation de flamme. Pour cela, elle s'appuie sur une expertise expérimentale et numérique grâce à la plateforme incendie Hestia. Partenaires de recherche depuis 2012, la société Pujoulat et l'Institut Pprime ont choisi de franchir une nouvelle étape dans leur collaboration par la mise en place d'un laboratoire commun (LabCom), OPTIFUM².

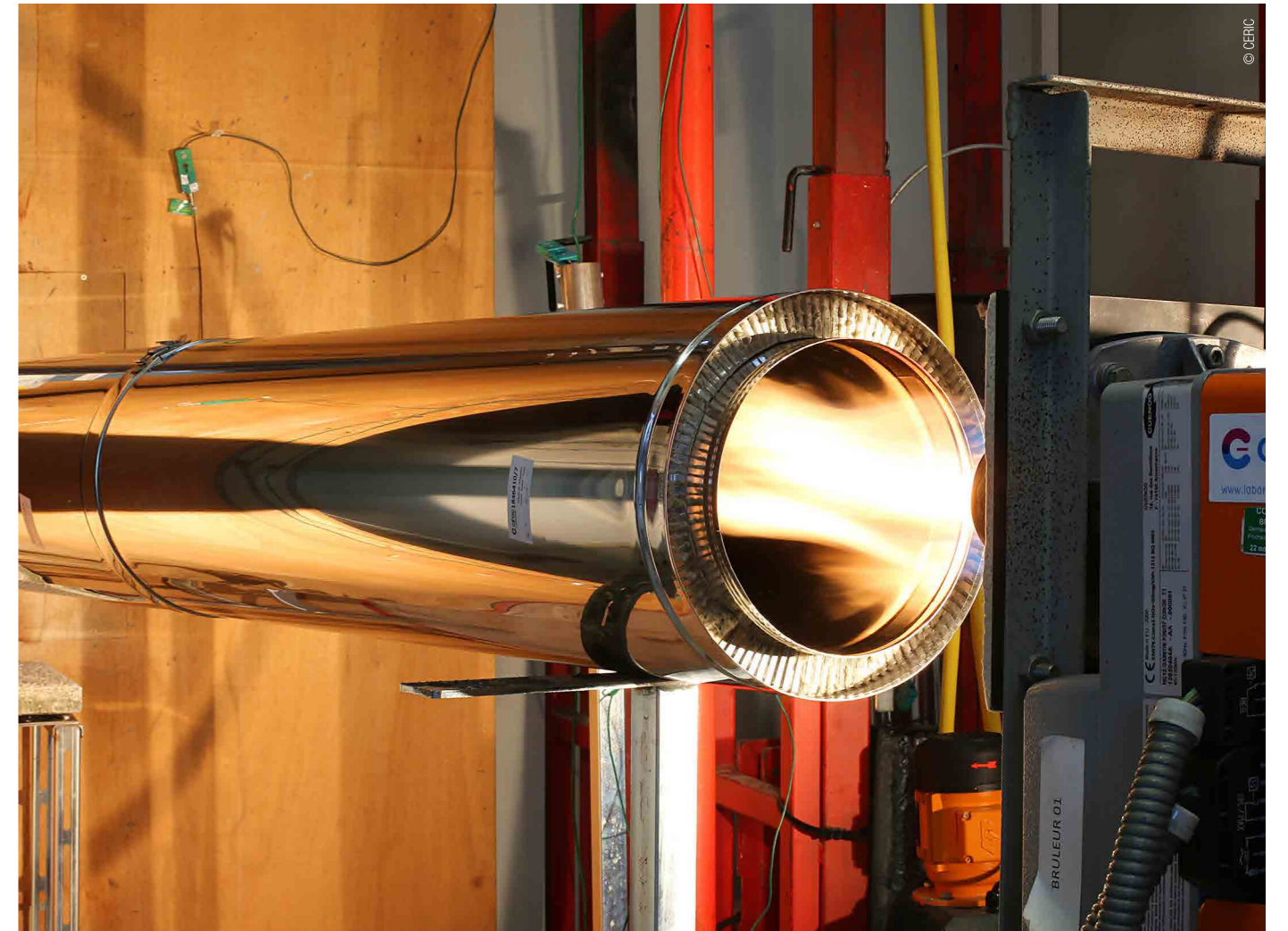
DIMINUER L'IMPACT DES DÉPÔTS

Le LabCom poursuit les travaux déjà entrepris pour développer des produits innovants permettant de prévenir les feux dans les habitats, en améliorant les performances des conduits de fumée. Le feu implique des dépôts liés à la combustion incomplète au sein du foyer sur les parois du conduit. Ces derniers représentent un vrai danger d'inflammation. Les études vont permettre d'acquérir des connaissances et d'élaborer des bases de données et des modèles numériques nécessaires au développement de conduits limitant, d'une part, les dépôts des résidus de la combustion, leur inflammation et leur combustion puis, d'autre part, l'échauffement des conduits.

Le programme du LabCom OPTIFUM repose alors sur plusieurs phases essentielles : l'étude et la caractérisation des dépôts et de leurs inflammabilité et combustibilité, l'analyse de la propagation de la flamme à échelle semi-réelle mais également la réalisation d'un modèle de transfert de chaleur et d'un modèle de prédiction de l'inflammation et de la combustion. Il contient aussi un volet « application et amélioration des produits existants » permettant à l'industriel de se projeter sur le développement de nouveaux produits.

DES EXPÉRIMENTATIONS À PLUSIEURS ÉCHELLES

Tout d'abord, les travaux ont montré que le lignite est un matériau représentatif de la diversité des dépôts rencontrés réellement. Des essais ont



Essai en dispositif « coin en bois » sur la tenue thermique des conduits.

alors été conduits à très petite échelle, permettant de déterminer les paramètres thermophysiques du lignite, et d'en analyser la cinétique de décomposition thermique. Un modèle de simulation numérique de cette décomposition thermique a été développé et a été validé.

Puis des essais ont été réalisés à plus grande échelle, avec deux dispositifs spécifiquement développés pour le projet. Ceux-ci ont mis en évidence que l'inflammation et la combustion du lit poreux de lignite sont influencés par : la taille des particules de lignite, le flux de chaleur incident et la concentration locale en oxygène de l'air traversant le lit de lignite. Les modélisations numériques ont alors permis de valider le modèle précédemment développé.

OPTIFUM a été sélectionné et financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) à hauteur de 300 000 € dans le cadre de l'appel à projet Labcom 2018.

Le programme LabCom de l'ANR a vocation à favoriser la création de partenariats structurants entre les acteurs de la recherche académique et des PME ou des ETI. Son objectif est la mise en commun de moyens et de compétences, au service d'un programme de recherche, de développement et d'innovation défini conjointement entre une équipe de recherche et un industriel pour produire de façon pérenne de la valeur économique et de l'innovation.

Les partenaires d'OPTIFUM bénéficient également d'un soutien financier de 75 500 € de la Région Nouvelle Aquitaine.

Dans les prochains mois, l'étude expérimentale à échelle semi-réelle sera achevée et la capacité du modèle à représenter cette configuration spécifique sera évaluée. Le dispositif à échelle réelle dont la conception est en cours sera lui finalisé et utilisé pour une dernière campagne expérimentale, servant de base d'appui pour la validation finale de l'approche numérique développée.

Thomas ROGAUME < PPRIME
thomas.rogaume@univ-poitiers.fr

Franck RICHARD < PPRIME
franck.richard@univ-poitiers.fr

Lionel DRUETTE < POUJOLAT
l.druette@laboratoire-ceric.com

Pierre CRÉMONA < POUJOLAT
p.cremona@laboratoire-ceric.com

www.optifum.com

https://pprime.fr/

¹ Institut P' (Recherche et Ingénierie en Matériaux, Mécanique et Energétique) (laboratoire CNRS en partenariat avec l'Université de Poitiers et l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace - École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique)

² Optimisation des conduits de fumisterie en conditions d'incendie

Les fissures de fatigue : un enjeu de sécurité

La rupture par fatigue de pièces métalliques peut avoir des conséquences dramatiques dans de nombreux domaines. En particulier lorsque des micro-fissures sont provoquées par des défauts internes difficiles à détecter dans les métaux. Des chercheurs ont trouvé le moyen de les observer *in situ*.

Le projet GIGADEF¹ est conduit par quatre laboratoires (MatéIS², I2M³, PIMM⁴, Institut PPRIME⁵) et un centre technique (CTIF⁶). Il a débouché sur la mise en place d'une expérience de fatigue *in situ* unique à ce jour. Une éprouvette contenant un défaut interne dans un matériau est placée dans un synchrotron, source extrêmement puissante de rayons X permettant la visualisation en volume, pour recevoir une sollicitation vibratoire à 20 kHz. Ces défauts sont très délicats à détecter dans les pièces en production mais peuvent conduire à l'amorçage d'une fissure de fatigue fatale. Les données expérimentales obtenues sont indispensables dans la progression des connaissances des effets des défauts internes dans le calcul en fatigue des composants.

Les pratiques actuelles évaluent la durée de vie des matériaux jusqu'à 10 millions de cycles de fatigue (un cycle correspondant au fait d'appliquer un effort une fois sur un matériau). Avec une machine ultrasonique à 20 kHz, il est possible d'attendre le milliard de cycles et au-delà !

DES PETITS DÉFAUTS AUX EFFETS DESTRUCTEURS

Le 3 juin 1998, le train à grande vitesse ICE1 déraille entre Munich et Hambourg. L'expertise métallurgique publiée dans la revue Engineering Failure Analysis conclut que « *La cause fondamentale de l'initiation et de la croissance d'une fissure de fatigue jusqu'à la rupture finale de l'essieu était une combinaison nécessaire des facteurs d'influence suivants... d) La fracture s'est produite alors que l'essieu était en service sur 3,09 millions de kilomètres, ce qui correspond à 10⁹ cycles de chargement. Ce chargement appartient à la gamme de fatigue à cycle très élevé (VHCF) où un déclenchement de fissure de fatigue au niveau des impuretés proches de la surface est probable... l'inspection*

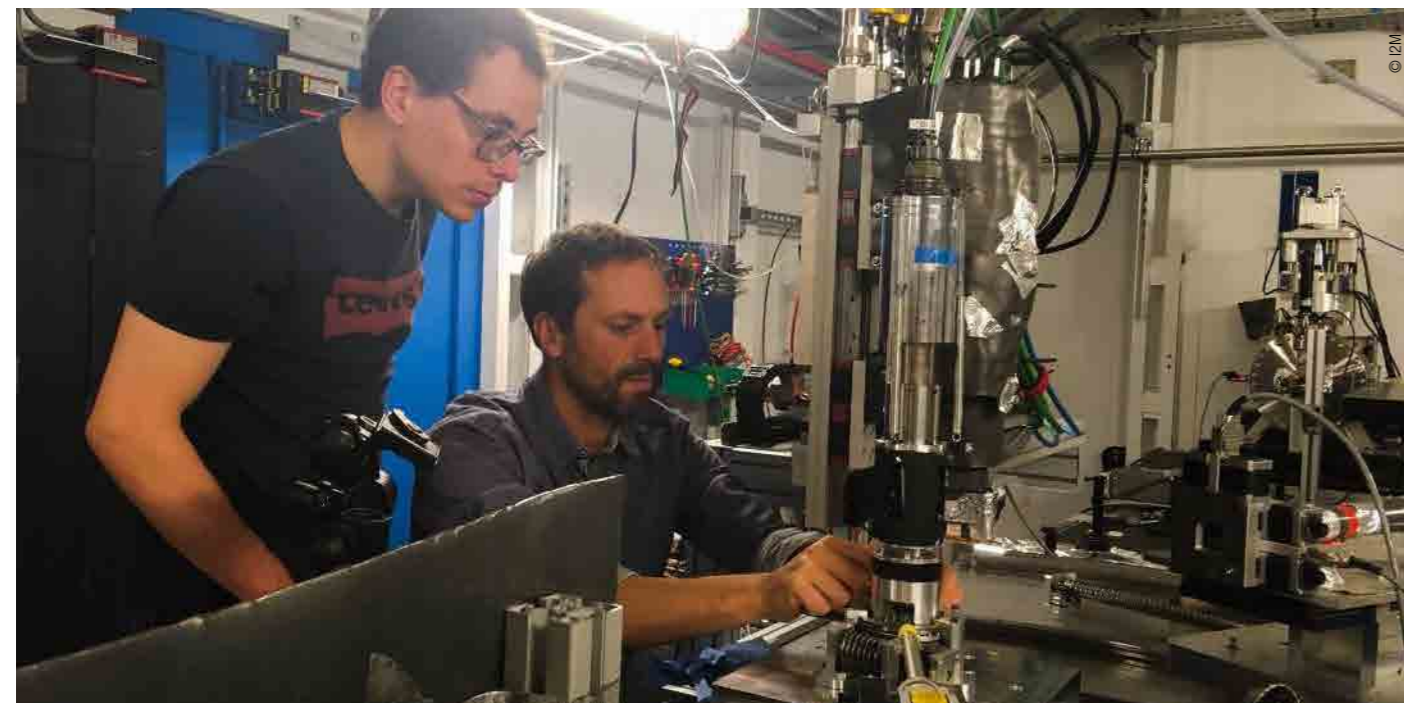
par ultrasons 150 000 km avant la fracture n'était pas assez sensible ou l'intervalle d'inspection était trop long. ». Cette conclusion montre que des petits défauts sous la surface peuvent être critiques et que la pièce a été sollicitée dans le domaine gigacyclique, c'est-à-dire largement au-delà de la norme usuelle de 10 millions de cycles. Par ailleurs, l'article évoque aussi la difficulté pour détecter des défauts internes ou encore pour calculer les intervalles d'inspection, c'est-à-dire prévoir par le calcul la propagation des fissures de fatigue internes.

À ce jour, seulement 5 publications dans le monde font état de résultats expérimentaux sur le suivi (sans artifices) de la propagation des fissures de fatigue internes. Pourquoi si peu alors que le sujet est d'importance pour la sécurité des composants ? Parce que ces fissures sont de très petite taille (quelques dizaines de microns) et qu'elles sont à l'intérieur du matériau, ce qui les rend très difficiles à détecter avec les moyens d'observation conventionnels.

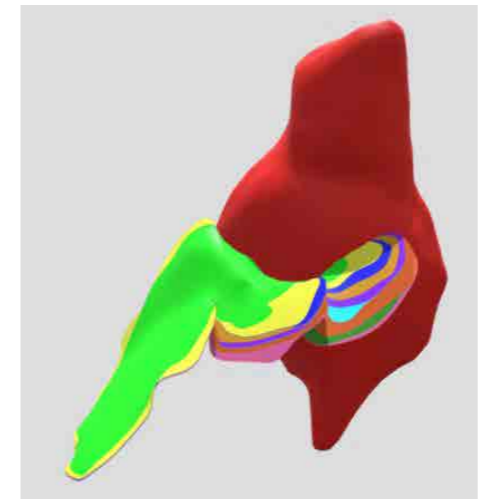
Après 10 ans de recherche, les chercheurs ont mis en place une expérience unique à ce jour pour suivre en cours d'essai de fatigue des fissures internes dans les métaux. Pour aboutir à cela, trois expertises complémentaires sont à réunir.

UNE ÉPROUVETTE AVEC DES DÉFAUTS INTERNES CONTRÔLÉS

Le premier enjeu a été de mettre en place une méthodologie répétable pour fabriquer une éprouvette de fatigue contenant un défaut interne centré dans un aluminium moulé, ce qui représente en soi une prouesse technique. La technique est actuellement maîtrisée et permet

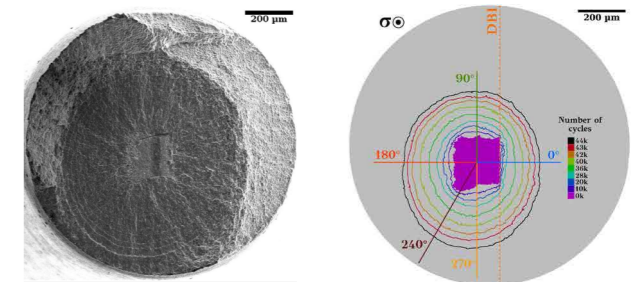


Machine de fatigue ultrasonique et son instrumentation dans son environnement au synchrotron.



© I2M

Allure 3D des fissures internes autour du défaut de diamètre 600 µm à différents stades de propagation. 1,4 million de cycles séparent la fissure verte de la fissure rose.



© MatéIS

Surface rompue et suivi de l'avancée de la fissure de fatigue interne à chaque étape de la propagation.

de produire les éprouvettes à tester. En complément de cela, et pour étudier un autre matériau à une autre fréquence de cyclage (20 Hz), une procédure a été mise en place pour fabriquer artificiellement une fissure interne dans un titane laminé. On utilise le laser femtoseconde pour fabriquer une petite fissure en surface puis on "soude" cette surface contenant la fissure sur une autre surface vierge par "frittage flash" (forte pression à chaud). Un usinage final par électroérosion permet de fabriquer une petite éprouvette de titane contenant la fissure interne. Cette éprouvette sera finalement polie en surface pour favoriser l'amorçage interne de celle-ci dans le matériau.

"... un tel équipement est unique à ce jour dans le monde."

CONCEVOIR UNE MACHINE ULTRASONIQUE

Les fissures de fatigue internes sont encore assez méconnues et sans que l'on puisse vraiment expliquer pourquoi, elles s'amorcent plus facilement pour de faibles sollicitations et des très grands nombres de cycles (1 milliard de cycles et au-delà) tout en se propageant très lentement. Il faut donc concevoir un moyen de test qui permette de cycliser l'éprouvette dans le domaine dit 'gigacyclique' pour avoir un temps d'expérience compatible avec les quelques jours disponibles sur un synchrotron pour réaliser les observations (13h = 1 milliard de cycles !). Une autre difficulté à contourner concerne la détection de l'amorçage de la fissure interne car dès que la fissure fait quelques microns, elle se propage très vite à 20 kHz (20 000 cycles de fatigue par seconde !). Les chercheurs ont mis en place des techniques de détection et de suivi de fissure interne *in situ* par analyse fréquentielle temps réel complétées par des mesures de thermographie infrarouge en surface.

Une machine de fatigue ultrasonique fonctionnant à 20 kHz a été développée pour répondre à ce besoin. Elle est transportable de sorte à pouvoir être installée sur les lignes de lumière (zone d'observation) de synchrotrons ainsi que l'instrumentation embarquée (thermographie infrarouge et vibromètre laser). Pour une meilleure compréhension, un tel équipement est unique à ce jour dans le monde.

COMPRENDRE LES MÉCANISMES D'ENDOMMAGEMENT INTERNES

Le synchrotron est le seul instrument utilisable pour voir des fissures internes de quelques microns dans un matériau métallique. Cette installation, très demandée, doit être optimisée au maximum. Ainsi, sa mise en service s'organise en campagnes qui ne peuvent être interrompues. L'expérience de fatigue gigacyclique est donc à installer au synchrotron pour 5 jours d'expériences non-stop 24h/24 ! Les résultats actuels montrent que les fissures internes se propagent comme sous vide dans le titane et que leur morphologie est très complexe dans l'aluminium.

Ces résultats du projet GIGADEF sont parmi les premiers au monde. Démontrer que les fissures internes se propagent sous vide ou dans un environnement différent de l'air va permettre des progrès importants pour la maîtrise de la sécurité des composants soumis à des cycles de fatigue. Il reste cependant un travail fondamental à mener pour comprendre pourquoi les défauts internes sont plus nocifs que les défauts de surface dans le domaine des très grandes durées de vie (10⁹ cycles et au-delà !).

Yves NADOT < PPRIME
yves.nadot@ensma.fr
pour le consortium GIGADEF

<https://pprime.fr/>

<https://www.ctif.com/gigadef-un-projet-qui-ne-manque-pas-dambition/>

¹ Projet « Fatigue GIGacyclique à partir de DEFauts internes » financé par l'Agence nationale de la recherche

² Laboratoire Matériaux Ingénierie et Science (CNRS / Institut National des Sciences Appliquées Lyon / Université Claude Bernard)

³ Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux (CNRS / Université de Bordeaux / Arts et Métiers Sciences et Technologies / Bordeaux INP / Institut National de la Recherche Agronomique)

⁴ Laboratoire Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux (CNRS / Conservatoire National des Arts et Métiers / Arts et Métiers Sciences et Technologies)

⁵ Institut P' (Recherche et Ingénierie en Matériaux, Mécanique et Énergétique) (laboratoire CNRS en partenariat avec l'Université de Poitiers et l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace - École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique)

⁶ Centre Technique des Industries de la Fonderie

Aller au-delà de la 5G...

Avec un trafic de données mobiles mondial qui devrait augmenter de huit à dix fois d'ici cinq ans, il est primordial de développer des technologies efficaces pour l'échange de données à des débits bien plus élevés qu'aujourd'hui.



Si la 5G offre une nouvelle hausse majeure de débit, une réduction du temps de latence des transmissions de données et une connectivité démultipliée, la recherche de davantage de capacité et de sécurité passe par le développement de systèmes complexes et nouveaux. C'est dans ce contexte que s'inscrit un des quatre volets du programme Laboratoire d'Excellence Σ -LIM de Limoges.

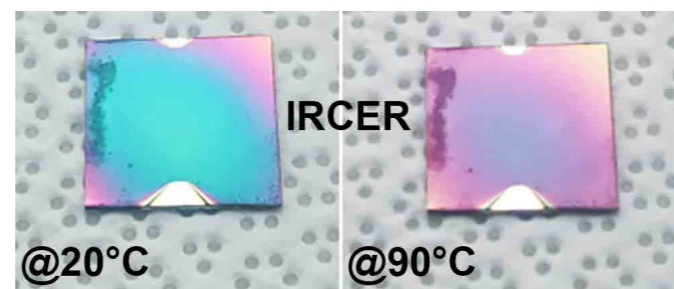
DE NOUVELLES BANDES DE FRÉQUENCES

« Aller au-delà de la 5G » passe premièrement par l'exploration de nouvelles bandes de fréquences, au-delà de celles qui sont utilisées dans la 5G actuelle. Par exemple, les fréquences térahertz désignent des ondes électromagnétiques s'étendant d'environ 300 GHz à 30 THz. Un signal térahertz est un signal dont la période est équivalente à un millième de milliardième de seconde. Plus la fréquence de communication est élevée, plus la quantité de données échangées dans un intervalle de temps fixe est grande. Ce temps extrêmement bref permet d'entrevoir d'énormes potentiels concernant les systèmes THz dans des applications de télécommunications haut-débit et des réseaux sans fil. Dans ces domaines de fréquences, la manipulation des ondes et le routage des signaux est un véritable pari, car les composants électroniques actuels n'ont pas les performances nécessaires à la manipulation de ces ondes de fréquences élevées.

DE NOUVEAUX MATÉRIAUX EN FILMS MINCES POUR DES DISPOSITIFS RADIOFRÉQUENCES

Depuis plus de 15 ans maintenant, l'institut XLIM et l'IRCER collaborent sur la synthèse et le développement de matériaux en films minces (thématique matériaux au cœur des défis explorés par l'IRCER) et la conception et l'intégration de ces matériaux dans des dispositifs radiofréquences (thématique micro-dispositifs portée par XLIM).

L'oxyde de vanadium (VO_2) ou encore le tellurure de germanium (GeTe) appartiennent à la famille des matériaux à changement de phase et à transition de phase. Ils présentent des changements de propriétés drastiques réversibles lorsque des stimuli externes leurs sont appliqués



Oxyde de vanadium thermochrome sur feuille d'aluminium ($1,5 \times 1,5 \text{ cm}^2$) passant d'un état isolant (20°C) à un état métallique (90°C), transition accompagnée par des changements drastiques de propriétés optiques.

comme par exemple une différence de potentiel, un changement de température ou encore la modification d'un éclairage lumineux.

Le VO_2 et le GeTe sont ceux qui, par leur coût de fabrication, leur stabilité et leurs performances, présentent le plus fort potentiel pour ces applications. De plus, ils possèdent l'avantage de révéler les changements draconiens de conductivités électriques à des températures proches des températures adaptées à l'environnement humain. Ces matériaux sont développés par différents procédés de dépôt vapeur par voie physique. L'un des plus attractifs est le procédé de dépôt par ablation laser (PLD pour Pulsed Laser Deposition) développé depuis 30 ans à l'IRCER. Compte tenu de sa flexibilité, la PLD est un outil idéal concernant la recherche scientifique dédiée à l'étude et au développement de matériaux en films minces (épaisseur du nanomètre jusqu'au micromètre). En PLD, un matériau-cible composé des éléments à déposer est irradié par un faisceau laser dans une enceinte ultra-vide. Le matériau, éjecté en quelques centaines de nanosecondes sous la forme d'un panache plasma se condense sur un substrat placé en vis-à-vis.

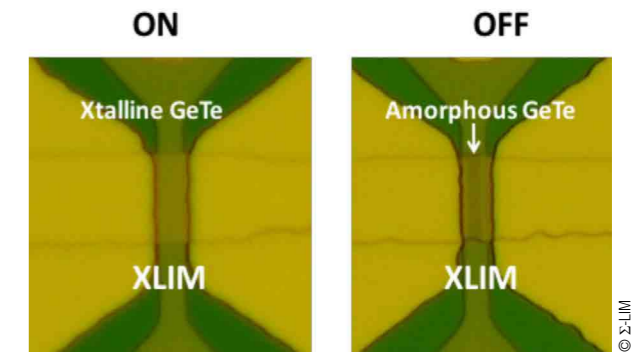
Grâce à ce type de procédé, des films minces de VO_2 ont été développés par ablation laser d'une cible de vanadium sous atmosphère d'oxygène réactive. En parallèle, des matériaux composites de VO_2 , d'architectures plus complexes, formés de nanoparticules d'or (10 nm) aléatoirement dispersées ou de quasi-triangles d'or ($700 \mu\text{m}$) auto-organisés ont été développés et ont permis d'obtenir des absorptions spécifiques dans les domaines du visible (le vert) ou le proche infra-rouge. Ces travaux permettent d'envisager des actionnements par stimuli optiques plus efficaces.

"... des temps d'activation de l'ordre de la nano-seconde..."

DES MICRO-DISPOSITIFS RADIOFRÉQUENCES INNOVANTS

L'introduction de ces matériaux sous forme de films minces dans des dispositifs radiofréquences (RF) fut proposé avec succès par les deux laboratoires en 2007. Des premiers démonstrateurs RF ont ainsi montré de très bonnes propriétés de commutation (transfert entre des voies de transmission) en fonction du caractère isolant ou conducteur du VO_2 activé par un stimulus thermique en passant d'une température ambiante de 20° à une température de 90° lui permettant de devenir conducteur. Dans la gamme de signaux haute fréquence de 1 à 40 GHz, les commutateurs ont révélé, en fonction de la température du dispositif, deux statuts distincts : l'état conducteur ou l'état isolant du dioxyde de vanadium.

Ces dispositifs peuvent être commandés électriquement et optiquement permettant, en réduisant l'inertie thermique, la diminution des temps de commutation. Ces dispositifs basiques ont permis par la suite d'imaginer des composants plus complexes comme des filtres dont la fréquence d'utilisation et la bande passante peuvent être ajustées en jouant sur la combinaison d'états isolants ou métalliques de micro-patches insérés dans des résonateurs (systèmes qui possèdent une ou plusieurs fréquences donnant un maximum d'amplitude et qui peuvent, de ce fait, entrer en résonance).



Vue au microscope optique d'un commutateur GeTe. À gauche, au centre du micro-système, GeTe dans un état conducteur "ON" cristallisé, à droite, GeTe dans un état isolant "OFF" amorphe (atomes désordonnés)

Plus récemment, sur un projet ANR* en cours qui réunit 7 partenaires, des déphaseurs et des interrupteurs plus complexes ont été réalisés. Ces micro-démonstrateurs utilisent l'activation du VO_2 par photodiodes fibrées et constituent les précurseurs d'un dispositif plus complexe : un réseau antennaire réflecteur basé sur des dispositifs VO_2 . Ce réseau, optimisé par modélisation est en cours de finalisation. L'activation photonique permet ici de présenter des temps d'activation de l'ordre de la nano-seconde (1 milliardième de seconde) donc compatible avec des utilisations dans les domaines fréquentiels du Gigahertz (1 milliard de Hertz). À titre d'illustration, les télécommunications cellulaires 5G utilisent des bandes de fréquences d'environ 1 à 24 GHz. Par contre certains effets thermiques inertiels liés à la couleur du laser d'activation et aux interactions lumière-matière peuvent provoquer des temps de relaxation de l'ordre de la micro-seconde (1 millionième de seconde), fortement préjudiciable pour des utilisations très hautes-fréquences.

Outre le temps de réaction des micro-dispositifs, un autre paramètre crucial et déterminant est la consommation énergétique des composants. Certains matériaux comme le VO_2 impose de maintenir un stimulus pour rester dans un état de conduction « métallique », d'autre comme le GeTe ne nécessite qu'un stimulus ponctuel pour passer d'un état isolant permanent à un état conducteur permanent. Ces travaux sont cofinancés par un projet de l'agence spatiale européenne, et coordonné par la société Thales Alenia Space à Toulouse. Une des premières applications de ces composants est de remplacer les matrices de commutations (les « boîtes à relais ») qui sont présentes dans toutes les charges utiles de satellites de communications. En effet, les commutateurs GeTe présente une bi-stabilité similaire aux relais mécaniques, mais avec une taille de seulement quelques micromètres. L'apport du LABEX Σ -LIM va permettre d'explorer l'utilisation d'autres matériaux, pour améliorer encore les performances de cette nouvelle génération de composants.

Frédéric DUMAS-BOUCHIAT < IRCER

frederic.dumas-bouchiat@unilim.fr

Pierre BLONDY < XLIM

pierre.blondy@xlim.fr

https://www.unilim.fr/labex_sigmalim/

* Projet ANR MUFRED (IRCER, Xlim, LMGP, Thales, IETR, Lab-STICC, Te-OX) <http://www.unilim.fr/mufred/mufred/>

L'Asie, terre de collaborations

Les International Research Projects sont des projets de recherche collaboratifs entre des laboratoires CNRS et des laboratoires étrangers. XLIM et l'IRCER sont à l'origine de deux d'entre eux en Asie, avec Singapour et Nagoya.



Les collaborations inter-laboratoires sont habituelles. Lorsqu'elles sont établies de longues dates, de surcroît avec ces laboratoires étrangers et avec des échanges scientifiques de qualité et complémentaires, elles s'organisent en IRP. Ce format offre un cadre propice au développement d'activités de recherche communes, y compris d'encadrement d'étudiants.

DES FIBRES OPTIQUES POUR DES APPLICATIONS MÉDICALES

Les incroyables propriétés offertes par les fibres optiques ont le potentiel de développer de nouvelles techniques de biodétection et de nouveaux outils pour des diagnostics médicaux performants et au chevet du patient. C'est dans cet objectif que « FiberMed » (« Specialty optical fiber based biosensing for medical applications ») a été lancé.

Fort d'une collaboration franco-singapourienne initiée en 2013*, le Singapore Bioimaging Consortium (SBIC**) et le laboratoire XLIM (UMR 7252 CNRS/Université de Limoges) ont construit un premier projet international de collaboration en 2016. Ils ont également signé à la même époque un accord de collaboration scientifique (RCA). Afin de consolider et d'élargir cette collaboration à d'autres champs scientifiques, l'IRP « FiberMed », dédié au développement de techniques de biodétections innovantes, a été établi en juin 2019. Il a lui-même été renforcé par un RCA en octobre 2020.

"... pour des cliniciens et des transferts vers l'industrie."

L'originalité de ce projet réside dans l'exploitation des propriétés de fibres optiques spéciales composées de canaux micro-fluidiques qui permettent de faire circuler un fluide le long du cœur de la fibre optique. Les interactions entre la lumière et le micro-fluide sont exacerbées en fonctionnalisant les canaux avec des nanostructures (plasmoniques, biochimiques).

La finalité de FiberMed est de développer plusieurs prototypes de sondes fibrées de biodétection fondées sur différentes technologies :

la diffusion Raman exaltée de surface (SERS), la fluorescence exaltée de surface (MEF), la résonance plasmonique de surface (SPR), la spectroscopie photo-acoustique, l'analyse du front d'onde par des structures « métasurfaces », ou l'imagerie photo-acoustique. Pour répondre à ces ambitieux objectifs, FiberMed s'appuie sur l'expertise de XLIM dans la réalisation et l'adaptation de nouvelles fibres optiques spéciales, et sur celle du SBIC dans le développement de nouvelles plateformes biophotoniques de biodétections à un niveau préclinique, pour des cliniciens et des transferts vers l'industrie.

DÉTECTER LES BIOMARQUEURS DU CANCER OVARIEN

À travers le développement d'une sonde de bio-détection Raman-SERS fondée sur une fibre optique, les équipes de FiberMed ont obtenu le record de fiabilité de mesures Raman-SERS, permettant de détecter et de quantifier l'haptoglobine, un biomarqueur du cancer de l'ovaire, contenu dans le liquide des kystes ovariens, et ainsi de différencier les stades du cancer ovarien dans des fluides de patientes singapouriennes.

Ces résultats démontrent, pour la première fois, les performances de cette sonde à fibre optique pour effectuer des analyses SERS de fluides corporels, compatibles avec un environnement clinique. Ces développements prometteurs ont été brevetés et publiés. En outre, ils pourraient conduire au développement d'une nouvelle génération de sonde de biopsie opto-fluidique permettant la détection de biomarqueurs dans les fluides corporels pour de multiples pathologies.

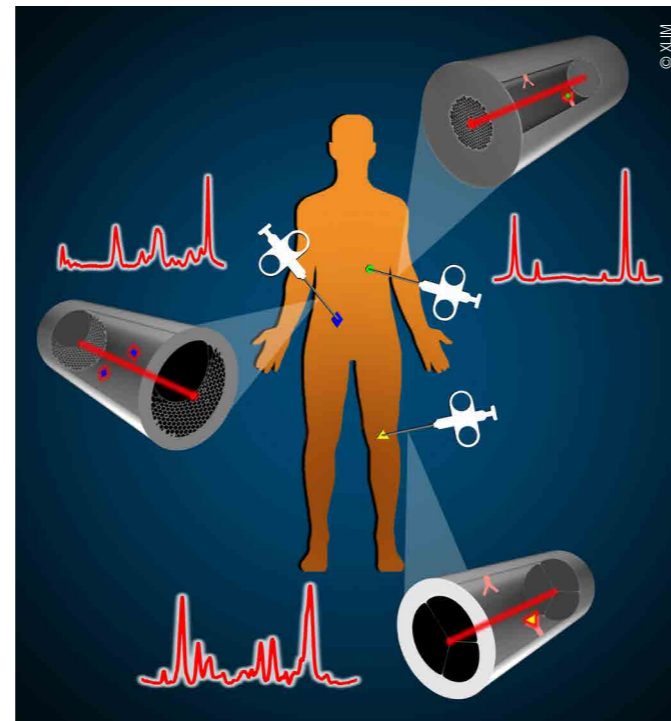


Illustration du concept de sonde de bio-détection Raman-SERS fondée sur une fibre optique spéciale développée par les équipes de FiberMed.

Dans la continuité de ces travaux, un projet financé par la région Nouvelle Aquitaine qui porte sur la détection et l'analyse d'exosomes (sain ou tumoral) avec ces sondes Raman-SERS à fibres optiques a débuté en 2021. Ce projet est également mené avec le SBIC et le laboratoire CAPTuR de l'Université de Limoges.

Georges HUMBERT < XLIM
georges.humbert@xlim.fr
Dinish US < SBIC
Dinish@ibb.a-star.edu.sg
<https://www.xlim.fr/>

LE CHALLENGE DES CÉRAMIQUES TECHNIQUES

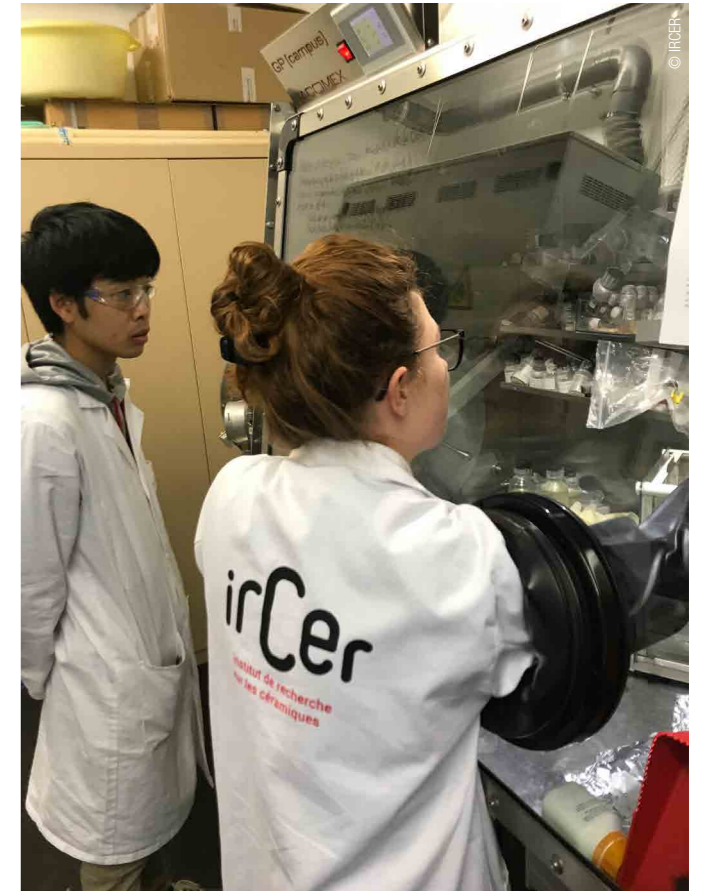
Les céramiques techniques ont le potentiel pour révolutionner des domaines sociétaux aussi variés que le stockage et la conversion d'énergie, l'environnement, les technologies de l'information et de la communication, la santé, ou encore l'aéronautique. C'est pour relever ces défis sociétaux que le « Ceramics materials for societal challenges » a été initié il y a deux ans.

"... traiter des sujets d'avenir..."

Lancé en 2019, cet IRP repose sur une collaboration de plus de 15 ans entre l'Institut de Recherche sur les Céramiques (IRCER UMR 7315 CNRS/Université de Limoges) et l'Institut National de Technologie (NITech) de Nagoya. Il s'appuie sur les compétences scientifiques et techniques variées, complémentaires et reconnues des groupes de recherche constituant les deux instituts. Il pérennise les thèmes communs « historiques », fédère de nouvelles collaborations entre les différents groupes de chaque partenaire. Il promeut les échanges d'étudiants, du niveau master au doctorat, et de chercheurs. « Ceramics materials for societal challenges » se structure en quatre défis scientifiques en lien avec des enjeux sociétaux prioritaires en raison de leur réel impact positif sur la vie des citoyens dont l'énergie, les technologies de l'information et de la communication, les matériaux durables et la santé. Au cœur de l'innovation, cet IRP a pour vocation de traiter des sujets d'avenir tels que les matériaux pour l'optique, des matériaux oxydes d'intérêt pour les piles à combustibles, le transport de chaleur dans les matériaux poreux et les céramiques polycristallines, les géopolymères et/ou composites et les céramiques dérivées de polymères...

DÉVELOPPER DE NOUVEAUX MATÉRIAUX DURABLES

La gestion de l'énergie est plus que jamais au centre des préoccupations quotidiennes. Elle représente une priorité socio-économique majeure. À titre d'exemple, les travaux menés au sein de l'IRP ont permis des avancées dans l'élaboration de nanocomposites à base de nitrure. Dans ce cadre, le développement de matériaux durables est indéniablement l'un des défis scientifiques phares pour lequel les céramiques techniques et en particulier les nanocomposites à base (ou à partir) de nitrure de titane (TiN) et de nitrure de silicium (Si₃N₄) élaborés à partir de polymères précéramiques présentent d'importants avantages. En effet, ils ont le potentiel pour être utilisés en tant que catalyseurs (par synergie avec le platine) dans des réactions de production d'hydro-



Collaboration d'étudiants NITech-IRCER dans le cadre de l'IRP.

gène qui pourrait alimenter une pile à combustible. Cette approche est actuellement étudiée dans le cadre de l'IRP à travers le remplacement des métaux précieux comme le platine par des métaux plus abondants et moins coûteux et la simplification du procédé d'élaboration.

Depuis sa création, « Ceramics materials for societal challenges » a conduit à de nombreuses avancées scientifiques autour des matériaux verres et céramiques en termes de compositions/structures et de procédés de synthèse mis en œuvre.

Samuel BERNARD < IRCER
samuel.bernard@unilim.fr
Philippe THOMAS < IRCER
philippe.thomas@unilim.fr
Koichiro FUKUDA < NITech
fukuda.koichiro@nitech.ac.jp
<https://www.ircer.fr/>

* Cette collaboration a été initiée via l'unité mixte Internationale CINTRA entre le CNRS, le NTU et THALES

** Le SBIC est devenu Institute of Bioengineering and Bioimaging (IBB) – C'est un laboratoire de «The Agency for Science, Technology and Research (A*STAR) <https://www.a-star.edu.sg/ibb>

Talents

Le CNRS a dévoilé ses Talents 2021. Découvrez les lauréats !



Médaille
de cristal



© Mathieu Allix

Cécile Genevois, ingénieure de recherche en microscopie électronique à transmission au CEMHTI (Orléans).



© Linda Jeuffraut

Thomas Rochette-Castel, chargé d'affaires européennes, responsable du pôle Europe - Service Partenariat et Valorisation Grand Campus à la Délégation régionale Centre Limousin Poitou-Charentes.



Médaille
de bronze



© Linda Jeuffraut

Élodie Salager, chercheuse en chimie des solides, spécialisée dans la résonance magnétique des solides et des dispositifs de stockage de l'énergie au CEMHTI (Orléans).



Cristal
collectif

Michel Drouet, Fabrice Berneau, Kévin Dessieux, Frédéric Gacioch, Bruno Lamongie, Marc Marteau, Patrick Tanguy et Claude Veillon de l'équipe Nanoplast de Pprime (Poitiers)

Marine Durand, membre de la Cellule FESI et responsable de la cellule contrats Europe au sein du Service Partenariat et Valorisation Grand Campus à la Délégation régionale Centre Limousin Poitou-Charentes

Henri Massias, ingénieur à XLIM (Limoges) et **Romain Theron**, ingénieur à l'institut Denis Poisson (Orléans), membres de la plateforme en ligne mathématique (PLM).

Les portraits des lauréats seront bientôt disponibles sur www.cnrs.fr rubrique Talents.

Les cérémonies de remise des distinctions en présentiel auront lieu au 2^{ème} semestre 2021.



Médaille
de l'innovation



© Yves Almeida

François Jérôme, chercheur en chimie du végétal à l'IC2MP (Poitiers).

Visites



© Miléna Vérot

Christophe Coudroy, directeur général délégué aux ressources a visité PLEVOPRIM (Poitiers) lors de son rendez-vous annuel avec l'ensemble des fonctions support (ressources humaines, budget, achats, prévention sécurité, informatique, communication, logistique, partenariat et valorisation) de la Délégation et des unités.

11 juin

Poitiers



© Florence Royer

Florence Gouache, secrétaire générale pour les affaires régionales auprès de la préfète de la région Centre-Val de Loire a été nommée en avril 2021. C'est dans le cadre de ses nouvelles fonctions qu'elle s'est rendue à ICARE où les thématiques scientifiques et les moyens expérimentaux du laboratoire lui ont été expliqués et présentés.

24 juin

Orléans

Documentation

Les Services de la Délégation régionale ont élaboré une documentation « Montage de projets de recherche : un collectif de compétences au service des porteurs » à l'intention des scientifiques. Ce document doit les aider à anticiper toutes les problématiques bâtiment, informatique, sécurité, communication, RH et achats liées au montage et à la réalisation de leurs projets.

<https://intranet.cnrs.fr/delegations/dr8/Pages/default.aspx>

Signature



© Florence Royer

François Bonneau, président du Conseil régional de Centre-Val de Loire, et **Antoine Petit**, président-directeur général du CNRS, ont signé un protocole de coopération. Il vient soutenir et renforcer les capacités en recherche, formation et innovation sur le territoire de la Région Centre-Val de Loire par un dialogue opérationnel souple et réactif.

19 février

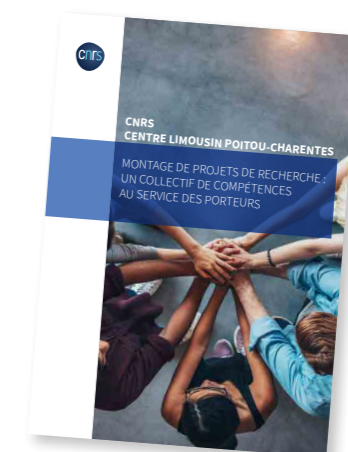
Orléans

Nomination

Carine Van Heijenoort, directrice de recherche CNRS, spécialiste de la caractérisation des états multiples des protéines par RMN à l'Institut de chimie des substances naturelles à Gif-sur-Yvette, a été nommée adjointe du Directeur Scientifique Référent (ADSR) pour le Centre-Val de Loire en remplacement de Michel Latroche. Le directeur scientifique référent (DSR), le Délégué régional et les ADSR élaborent la stratégie globale du CNRS sur les sites, la proposent au comité de direction du CNRS puis portent cette stratégie une fois qu'elle a été validée. Cette stratégie est élaborée dans une logique de partenariats avec l'ensemble des acteurs présents sur les sites.

1^{er} juillet

Orléans



à venir...

Colloque

Mercury 2022

Connaissances actuelles de la planète Mercure et perspectives scientifiques.

https://mercury2020.ias.u-psud.fr/main_1st.php

7-10 juin 2022 Orléans

Édition

Termites : comment agir ?



L'IRBI a participé à la réalisation d'une plaquette d'information grand public réunissant quelques conseils pour éviter l'installation et la propagation des termites.

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

Étonnante chimie



Disponible en librairie
<https://www.cnrs.fr/fr/etonnante-chimie-80-chercheuses-et-chercheurs-racontent-linattendu>

VISITES INSOLITES

Les visites insolites du CNRS



MANIFESTATION - Des rendez-vous intimistes, interactifs et exceptionnels pour le grand public autour d'expériences, dans des lieux uniques, avec des échanges privilégiés avec les scientifiques.

www.cnrs.fr/rubrique/agenda

1 - 11 oct Sur tout le territoire

FÊTE DE LA SCIENCE



fête de la Science ^{fr}

MANIFESTATION - Rendez-vous annuel des scientifiques et du grand public autour de visites de laboratoires, conférences, manipulations...

<https://www.fetedelascience.fr/>

1 - 11 oct Sur tout le territoire

COSMETIC' RECHERCHE TOUR

COSMETIC' RECHERCHE
TOUR
Les rendez-vous Recherche & Industrie

MANIFESTATION - Développer des collaborations public/privé et accompagner des industriels dans leur mise en œuvre.

<https://www.cosmetic-valley.com/actualite/lancement-du-cosmetic-recherche-tour.html>

2 sept 2021 Poitiers



ASAS²⁰²²

African School on Atmospheric Sciences

OCTOBRE 2022
Marrakech
Maroc

1^{ère} école thématique
des jeunes chercheurs
du continent africain
en chimie atmosphérique

contact : mellouki@cnrs-orleans.fr
<https://asas2022.sciencesconf.org>

Logos: CNRS, Orléans Université, MOHAMMED VI UNIVERSITY

VISITES INSOLITES

Les visites insolites du CNRS

MANIFESTATION - Des rendez-vous intimistes, interactifs et exceptionnels pour le grand public autour d'expériences, dans des lieux uniques, avec des échanges privilégiés avec les scientifiques.

www.cnrs.fr/rubrique/agenda

1 - 11 oct Sur tout le territoire

FÊTE DE LA SCIENCE

MANIFESTATION - Rendez-vous annuel des scientifiques et du grand public autour de visites de laboratoires, conférences, manipulations...

<https://www.fetedelascience.fr/>

1 - 11 oct Sur tout le territoire

COSMETIC' RECHERCHE TOUR

MANIFESTATION - Développer des collaborations public/privé et accompagner des industriels dans leur mise en œuvre.

<https://www.cosmetic-valley.com/actualite/lancement-du-cosmetic-recherche-tour.html>

2 sept 2021 Poitiers