

microSCOOP

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

Hors-série #20 Fête de la science - octobre 2020

Environnement

Le hamster des champs devient citadin
Cacatoès : l'expression par la plume
Espaces portuaires de Corse

Histoire

Les graffitis occidentaux de Bethléem

Biologie

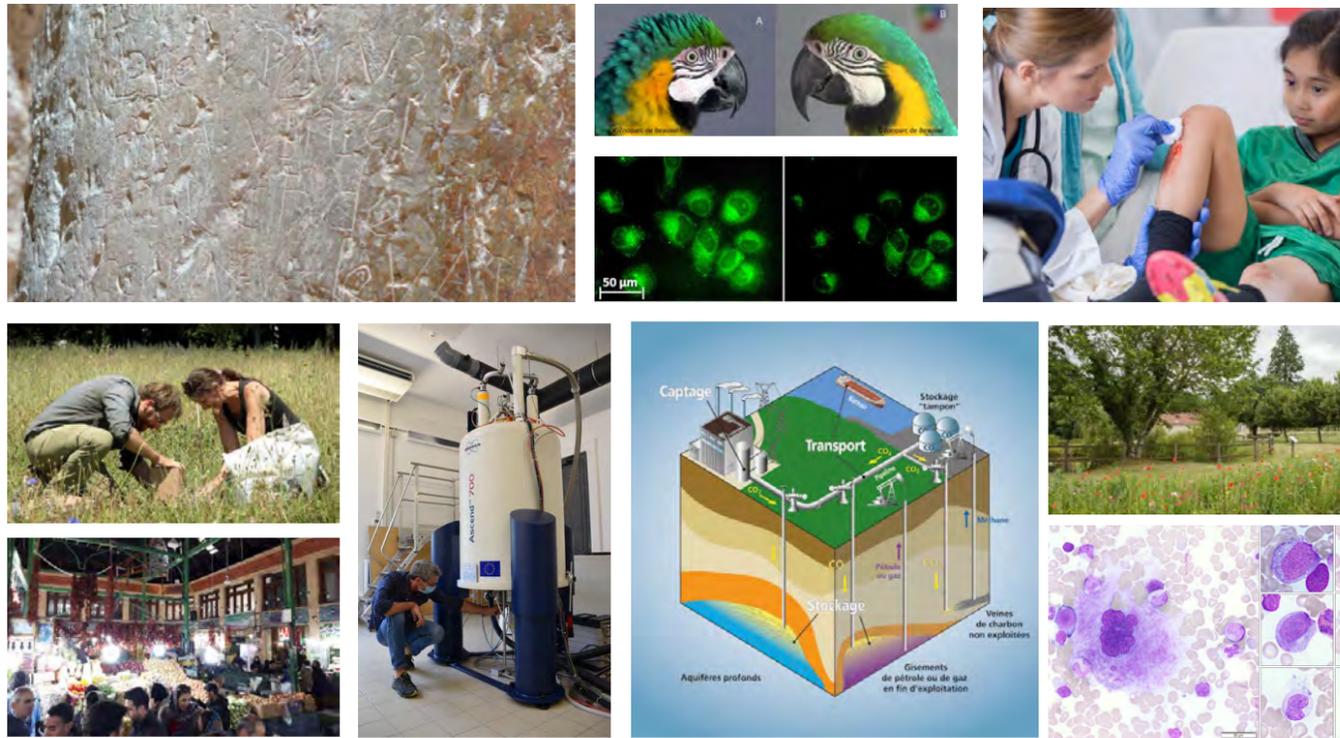
Les développements leucémiques à la cinquantaine

Société

Iran, sécurité et sentiment de sécurité en milieu urbain



cnrs



4 Chimie

- Les bienfaits bien cachés des oeufs ...
- De nouvelles structures chimiques fluorescentes.

8 Histoire

- Les graffitis occidentaux de Bethléem

10 Économie

- Le CCS, une solution durable pour décarboner nos économies ?

12 Société

- Iran, sécurité et sentiment de sécurité en milieu urbain

14 Environnement

- Le hamster des champs devient citadin
- Cacatoès : l'expression par la plume
- Espaces portuaires de Corse : un équilibre homme/nature à surveiller

22 Biologie

- Les développements leucémiques à la cinquantaine, quels sont les risques ?
- Réparation d'une plaie cutanée : le microbiote commensal en action

26 Physique

- Les diagrammes de phases ou la découverte de l'harmonie au coeur des matériaux

microscoop

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

Hors série #05 Filles de la science - octobre 2020

Environnement

Le hamster des champs devient citadin
Cacatoès : l'expression par la plume
Espaces portuaires de Corse

Histoire

Les graffitis occidentaux de Bethléem

Biologie

Les développements leucémiques à la cinquantaine

Société

Iran, sécurité et sentiment de sécurité en milieu urbain



ISSN 1291-8083

Photo couverture : ©Pixabay - Port de Calvi.

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

Secrétaire de la publication

Florence Royer

Création graphique/conception

Linda Jeuffrault
Hugo Guimmonneau

Ont participé à ce numéro :

Cécile Arnould, Aline Bertin, Laurent Caner, Laurent Cario, Manuella Cerbelaud, Pauline Chenuet, François Delhommeau, Céline Dubourg, Clément Dussart, Vanessa Ernst-Maillet, Xavier Galiègue, Marie-Aude Hiebel, Olivier Hérault, Muriel Hourlier, Céline Landon, Léa Lansade, Vanessa Larrigaldie, Michel Marengo, Denis Martouzet, Baptiste Mulot, Anne Mychak, Elisabeth Nau, Marion Pillet, Odile Petit, Gilles Porel, Olivier Rapaud, Noémie Ravalet, Bernhard Ryffel, Franck Suzenet, Hélène Thomas.

Imprimeur - Prévost Offset
Impression sur papier Couché Silk PEFC



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



Éditorial

La situation sanitaire implique une vigilance et le respect des gestes barrières permettant à chacune et à chacun de se protéger et de protéger ses collègues. Tout le challenge actuel est d'articuler une rentrée impactée par la crise sanitaire et économique liée au COVID-19, la poursuite des activités de recherche et une capacité à se projeter vers l'avenir pour dépasser les frontières de la connaissance.

Dans le contexte actuel, il est également déterminant que la communauté scientifique puisse dialoguer avec les citoyens pour répondre à leurs questionnements sur les grands défis de notre société et de notre planète. Ces temps d'échange sont aussi l'occasion d'expliquer la démarche scientifique déployée dans le cadre d'une activité de recherche mettant souvent en œuvre plusieurs disciplines et s'appuyant sur un raisonnement logique et argumenté.

La fête de la science qui se déroulera du 2 au 12 octobre et qui a pour thème « planète nature », constitue une réelle opportunité pour dialoguer notamment avec le jeune public et pour faire connaître les activités de recherche menées dans les laboratoires de la circonscription. Les animateurs de la fête de la science, quel que soit le site, ont fait preuve de créativité pour trouver des formats respectueux des protocoles sanitaires. Les formats numériques se sont ainsi multipliés. Le CNRS propose également des visites insolites de certains de ses laboratoires en comité très restreint ; ces rendez-vous se veulent intimistes, interactifs et exceptionnels.

Le nouveau numéro de Microscoop sera distribué à l'occasion de ces visites et constitue une vitrine de la richesse et de la diversité des recherches menées dans les laboratoires de la circonscription. Ce nouveau numéro s'inscrit d'ailleurs pleinement dans le thème de la fête de la science avec plusieurs articles consacrés à la nature.

Je remercie tous ceux qui contribuent activement à la diffusion et au partage de la culture scientifique, notamment à l'occasion de la fête de la science, et je vous souhaite une très bonne lecture de ce nouveau numéro de Microscoop.

Ludovic Hamon
Délégué régional



Les bienfaits cachés des œufs...

Si l'on connaît globalement la composition d'un œuf, on est encore aujourd'hui très loin d'avoir identifié au niveau moléculaire et biochimique chacune des quelques mille molécules qui le composent.



L'œuf est un des aliments d'origine animale les plus consommés au monde. Source indéniable de protéines, l'œuf contient également des acides gras essentiels, des antioxydants ou encore des vitamines qui lui confèrent une excellente valeur alimentaire. C'est aussi une véritable mine de molécules aux activités biologiques potentiellement valorisables, comme le lysozyme du blanc d'œuf largement utilisé dans les industries agroalimentaire et pharmaceutique.

UNE SOURCE DE PEPTIDES ANTIMICROBIENS

L'œuf est un milieu clos dans lequel le poussin en développement doit pouvoir trouver tout ce qui lui est nécessaire pour sa croissance et pour sa protection vis-à-vis des agressions extérieures, en particulier microbiennes. Au Centre de Biophysique Moléculaire (CBM - CNRS) à Orléans, des scientifiques cherchent en particulier, en étroite collaboration avec des experts de l'œuf de l'INRAE de Nouzilly, à caractériser les peptides antimicrobiens contenus dans un œuf. Ces études nécessitent la collaboration d'experts de biochimie, de chimie des peptides, de structure de protéines, et de biologie.

UNE DOUBLE β -DÉFENSINE ATYPIQUE

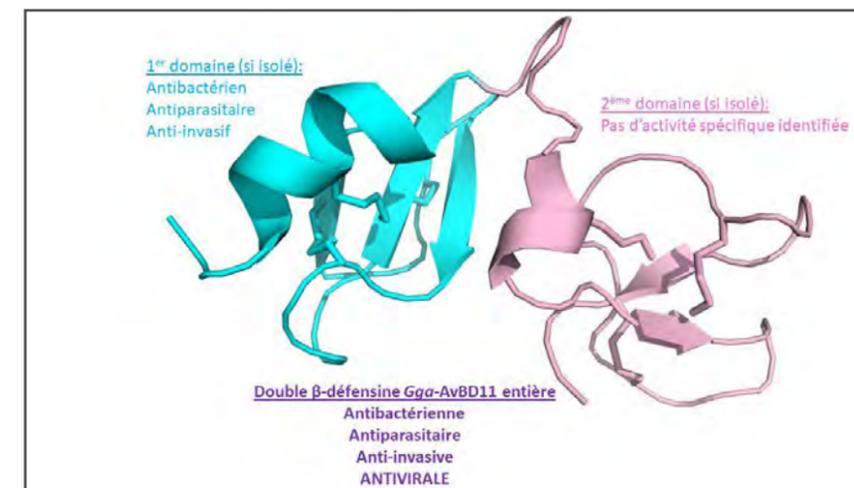
Les β -défensines sont des peptides antimicrobiens présents chez tous les vertébrés. Chez l'Homme, ils assurent par exemple les défenses au niveau de la peau, ou encore au niveau du liquide lacrymal, contre les agressions extérieures.

Parmi les 14 β -défensines intervenant dans la protection du poulet commun *Gallus gallus*, une β -défensine atypique, deux fois plus grande que les autres, a attiré l'attention : *Gga-AvBD11*. Cette β -défensine aviaire n°11 de *Gallus gallus*, est en effet un des constituants protéiques majoritaires de la membrane vitelline, cette très fine membrane qui entoure le jaune de l'œuf et qui est la toute dernière barrière protectrice de l'embryon en développement contre les attaques microbiennes.

"...aucune structure de ce type n'était précédemment référencée dans les banques de données..."

UN ARCHÉTYPE STRUCTURAL

À partir de la molécule directement extraite des membranes vitellines (comptez environ 60 œufs de poule pour obtenir 0.4g de membranes vitellines lyophilisées et finalement purifier 1mg de *Gga-AvBD11*), la structure moléculaire 3D de *Gga-AvBD11* a pu être obtenue par Résonance Magnétique Nucléaire. Constituée de deux domaines β -défensine, *Gga-AvBD11* est l'archétype d'une toute nouvelle famille structurale. En effet, aucune structure de ce type n'était précédemment référencée dans les banques de



Représentation schématique de la structure 3D de la double β -défensine *Gga-AvBD11* (1^{er} domaine en bleu, 2^{ème} domaine en rose). Les activités identifiées pour la molécule entière sont notées en violet.

données où sont répertoriées toutes les structures 3D de protéines.

UNE ORIGINALITÉ TRÈS CONSERVÉE CHEZ LES OISEAUX

Cette double β -défensine est très fortement conservée chez les oiseaux, des oiseaux les plus anciens tels les autruches ou émeus jusqu'au plus récents passereaux. Son apparition au cours de l'évolution est intrigante. Ses activités sont-elles accrues ? La double β -défensine porte-t-elle des fonctions biologiques que ne portent pas les β -défensines simple domaine ? Parmi le grand nombre de génomes de vertébrés actuellement séquencés, aucune double β -défensine n'a été répertoriée à ce jour chez les mammifères, poissons ou amphibiens. Seuls certains lézards et certains arthropodes possèderaient une double β -défensine ressemblant à la famille des AvBD11s d'oiseaux.

UNE PROTÉINE QUI PORTE DE MULTIPLES FONCTIONS

Pour mieux connaître les activités de la double β -défensine *Gga-AvBD11*, évaluer les contributions de chacun de ses domaines et leurs éventuelles synergies, les chercheurs orléanais ont synthétisé chimiquement chaque domaine. En collaboration avec plusieurs équipes de Nouzilly et de Tours, ils ont alors montré qu'elle présentait de multiples activités. Elle est active sur les bactéries pathogènes, comme par exemple *Listeria monocytogenes* ou *Salmonella Enteritidis*, responsables de la majorité des toxi-infections alimentaires. Elle agit sur le parasite *Eimeria tenella*, une des trois espèces d'*Eimeria* responsables des coccidioses aviaires et aussi sur le virus de la grippe aviaire H1N1. Enfin, elle présente également des activités cytotoxiques et anti-invasives, suggérant que *Gga-AvBD11* pourrait être aussi impliquée dans la (re)modélisation des tissus embryonnaires au cours du développement du poussin.

Ces résultats indiquent une importance majeure du premier domaine dans les activités antibactériennes, antiparasitaires et anti-invasives. Aucune des activités testées n'est portée spécifiquement par le deuxième domaine, même s'il augmente les activités antiparasitaires et anti-invasives conférées majoritairement par le premier domaine. Enfin, de façon frappante, la molécule entière est antivirale alors qu'aucun des domaines isolés n'est actif sur les cellules de poulet infectées par H1N1.

BIO-MIMÉTISME ET BIO-INSPIRATION

Même si une toute petite palette d'activités a été testée à ce jour pour cette molécule « couteau suisse », il est évident que *Gga-AvBD11*, avec son large spectre antibactérien, antiparasitaire et antiviral, est un élément essentiel de l'immunité innée. Il joue un rôle clef dans les défenses de l'embryon qui se développe à l'intérieur de l'œuf. *Gga-AvBD11* pourrait de plus être directement impliqué dans ce développement, en modulant la prolifération cellulaire.

Cette étude très fondamentale donne une meilleure connaissance des composés antimicrobiens de l'œuf. A plus long terme, elle pourra faciliter leur valorisation, ou la valorisation de molécules qui en

seraient dérivées, dans les domaines de l'agroalimentaire, de la cosmétique, et surtout de la santé. La nature est une source précieuse d'inspiration pour le développement de nouveaux composés d'intérêt thérapeutique, et un simple œuf en donne ici une très belle illustration !



Spectromètre de Résonance Magnétique Nucléaire à 700MHz utilisé au CBM pour la détermination des structures tridimensionnelles de biomolécules, en particulier protéines.

Céline LANDON < CBM
celine.landon@cns-orleans.fr
<http://cbm.cns-orleans.fr/>

De nouvelles structures chimiques fluorescentes

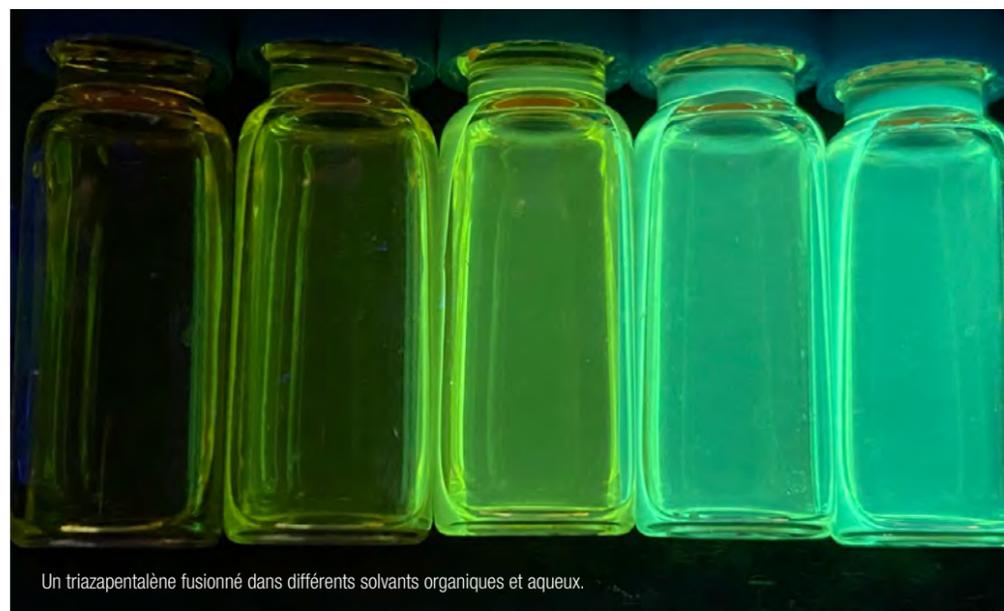
Offrir de nouvelles structures fluorescentes est un enjeu majeur dans le domaine de l'imagerie cellulaire. Dans ce contexte, des molécules organiques inédites, de petites tailles, solubles et stables sont actuellement développées et ouvrent de nombreuses perspectives pour l'étude des systèmes biologiques.

Visualiser la localisation et la dynamique de molécules au sein d'une cellule est indispensable pour mieux comprendre les processus biologiques. Pour cela, la microscopie de fluorescence offre l'avantage d'être très sensible et compatible avec des études cellulaires, tissulaires et in vivo. Les applications sont nombreuses et dépendent de la nature des molécules fluorescentes utilisées. Parmi celles-ci, les molécules organiques fluorescentes apparaissent essentielles pour la détection, la quantification et la compréhension des processus aussi bien en biologie, biochimie qu'en recherche biomédicale que pour le diagnostic. Elles ont l'avantage d'être de taille et de poids moléculaire modérés, d'exhiber une bonne stabilité chimique et d'être chimiquement facilement modulables. Il est ainsi possible de lier ces sondes à des biomolécules (protéines, anticorps, ...) ou bien de moduler les propriétés spectroscopiques par exemple en réponse à un environnement spécifique ou à un stimulus extérieur (notion de sondes intelligentes).

Bien que de nombreux fluorophores organiques aient déjà été décrits dans la littérature, la diversité des structures moléculaires que l'on retrouve dans les sondes d'imagerie cellulaire est souvent limitée. Pourtant, la sonde idéale n'existe toujours pas puisqu'aucun fluorophore ne présente simultanément une intense fluorescence, un écart entre longueur d'onde d'excitation et d'émission élevé, une bonne stabilité chimique et photostabilité ainsi qu'une solubilité suffisante en milieu biologique. Tout ceci est particulièrement vrai pour des fluorophores de petites tailles et faible poids moléculaire. Par conséquent, la découverte de nouvelles molécules fluorescentes reste un défi important pour offrir des outils moléculaires alternatifs et/ou complémentaires pour de nouvelles applications en bioimagerie.

LA DÉCOUVERTE D'UNE STRUCTURE ORIGINALE... DE LA THÉORIE À LA PREUVE EXPÉRIMENTALE

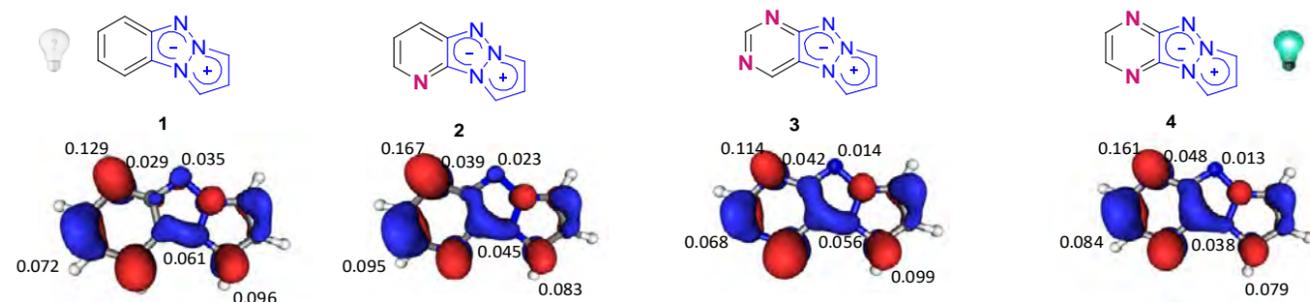
Dans le cadre des recherches de l'Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA – UMR 7311 CNRS/Université d'Orléans) sur la synthèse de composés chimiques que sont les hétérocycliques fortement azotés, le



Un triazapentalène fusionné dans différents solvants organiques et aqueux.

laboratoire a développé la synthèse de triazapentalènes qui ont la particularité de fluorescer en réponse à une excitation lumineuse. Alors que cette structure offre des propriétés spectroscopiques prometteuses, celles-ci peuvent être optimisées par l'ajout d'un troisième cycle.

Les premières études ont montré que le cycle ajouté (en noir) modifie considérablement les propriétés des fluorophores pouvant aller jusqu'à une perte totale de fluorescence. En se basant sur une étude théorique, le laboratoire a constaté que l'ajout d'atomes d'azote dans la molécule conduisait à une répartition différente des électrons (schématisé par les sphères rouges et bleues). On cherche à ce que cette répartition soit non uniforme, caractéristique d'un transfert électronique dans la molécule. Ce transfert est à l'origine de la fluorescence.



L'ajout d'atomes d'azote dans la molécule conduit à une répartition différente des électrons (schématisé par les sphères rouges et bleues).

L'équipe a développé la synthèse des 4 molécules 1 à 4 dont les propriétés photophysiques ont été étudiées. En accord avec les prédictions de l'étude théorique, l'introduction du premier atome d'azote dans le 2ème composé offre une légère fluorescence, phénomène amplifié pour les

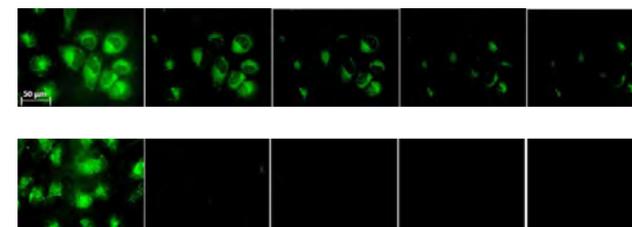
3ème et 4ème composés avec deux atomes d'azote. L'importance de la position des azotes sur le cycle a également été confirmée. Finalement, le 4ème produit se distingue comme le composé modèle avec sa forte fluorescence dans le vert.

DES PREMIERS RÉSULTATS À L'OPTIMISATION

En premier lieu, les chimistes ont vérifié la solubilité aqueuse du 4ème composé, un paramètre clé pour une utilisation optimale en imagerie cellulaire. Plus d'un milligramme de composé a pu être dissout dans un millilitre d'eau tout en conservant un signal fluorescent. En effet, le composé n°4 présente un solvatochromisme positif, c'est-à-dire que sa couleur varie du bleu-vert au vert-jaune (i.e. vers les longueurs d'onde plus longues) avec l'augmentation de la polarité du solvant dans lequel il est dissout. Par ailleurs, il s'avère stable dans une gamme de pH allant de 4 à 11 (gamme de pH physiologique).

"une bonne pénétration cellulaire du composé fluorescent et une bonne viabilité des cellules."

De là, un travail de méthodologie de synthèse a été entrepris afin de pouvoir améliorer les performances de ces fluorophores et les associer à des molécules biologiques. La stratégie de synthèse initialement développée avec des dérivés azotés et nitrés, à haute température (environ 165°C) a été complétée par une approche au départ de dérivés aminés. Ces dérivés aminés présentent l'avantage d'être plus facilement accessibles et permettent la synthèse des fluorophores désirés à température ambiante. Ce travail à plus basse température autorise une large diversité de fonctions organiques sur le noyau, même les plus fragiles.



Expérience de photoblanchiment (microspectroscopie à épifluorescence) effectuée sur le produit 5 (en haut) et comparaison avec un fluorophore commercial (en bas).

UNE PREMIÈRE VALIDATION BIOLOGIQUE : APPLICATION *IN VITRO*

Afin de démontrer le potentiel de cette nouvelle famille de fluorophores comme sonde pour l'imagerie cellulaire, des expériences de microscopie à épifluorescence ont été réalisées en collaboration avec le Centre de Biophysique Moléculaire à Orléans (CBM – CNRS). Pour cela, des cellules HeLa, cancéreuses, ont été incubées avec le composé n°5, analogue du composé n°4, pendant 1h30. Les images obtenues attestent à la fois une bonne pénétration cellulaire du composé fluorescent et une bonne viabilité des cellules. Les triazapentalènes présentent également une excellente photostabilité car le signal fluorescent enregistré est toujours observable après 100 secondes alors qu'avec un composé commercial de référence, le signal disparaît avant 30 secondes.

Les triazapentalènes fusionnés qui ont été développés par l'ICOA apparaissent comme un nouveau type de fluorophore organique très prometteur. Cette molécule compacte ouvre de nouvelles voies de développement dans le domaine de la recherche biomédicale. Cette famille originale est non toxique, photostable, chimiquement stable et est, pour certains composés, soluble dans l'eau. Les expériences de microscopie à épifluorescence valident leur utilisation possible comme sonde fluorescente pour l'imagerie cellulaire. Des modifications sont actuellement en cours au sein du groupe pour optimiser les propriétés spectroscopiques en vue d'applications in vivo et les premiers essais d'association avec des molécules biologiques ont commencé.

Marie-Aude HIEBEL < ICOA
marie-aude.hiebel@univ-orleans.fr

Franck SUZENET < ICOA
Franck.Suzenet@univ-orleans.fr
<http://www.icoa.fr>

Les graffitis occidentaux de Bethléem

Confondus avec des dégradations, les graffitis sont aussi sources d'informations sur les voyageurs des grands sites médiévaux. Les derniers travaux du Centre d'Études Supérieures de Civilisation Médiévale (CESCM-UMR7302 CNRS/Université de Poitiers) sur les parois des édifices de Bethléem en apportent l'explication.

La présence de dessins et de caractères sur le marbre de la basilique de la Nativité à Bethléem peut surprendre le visiteur, d'autant que ces colonnes viennent de faire l'objet d'un nettoyage et d'une restauration. Qualifiés de graffitis, ils sont les derniers témoignages de pratiques millénaires dont le sens et la signification ont fini par nous échapper. La simplicité du terme employé pour les désigner ne reflète pas l'étonnante diversité des signes conservés : cimiers héraldiques, écus armoriés, et quelques écrits en caractères latins, sans doute laissés par des pèlerins et voyageurs venus y honorer le lieu de la naissance du Christ.

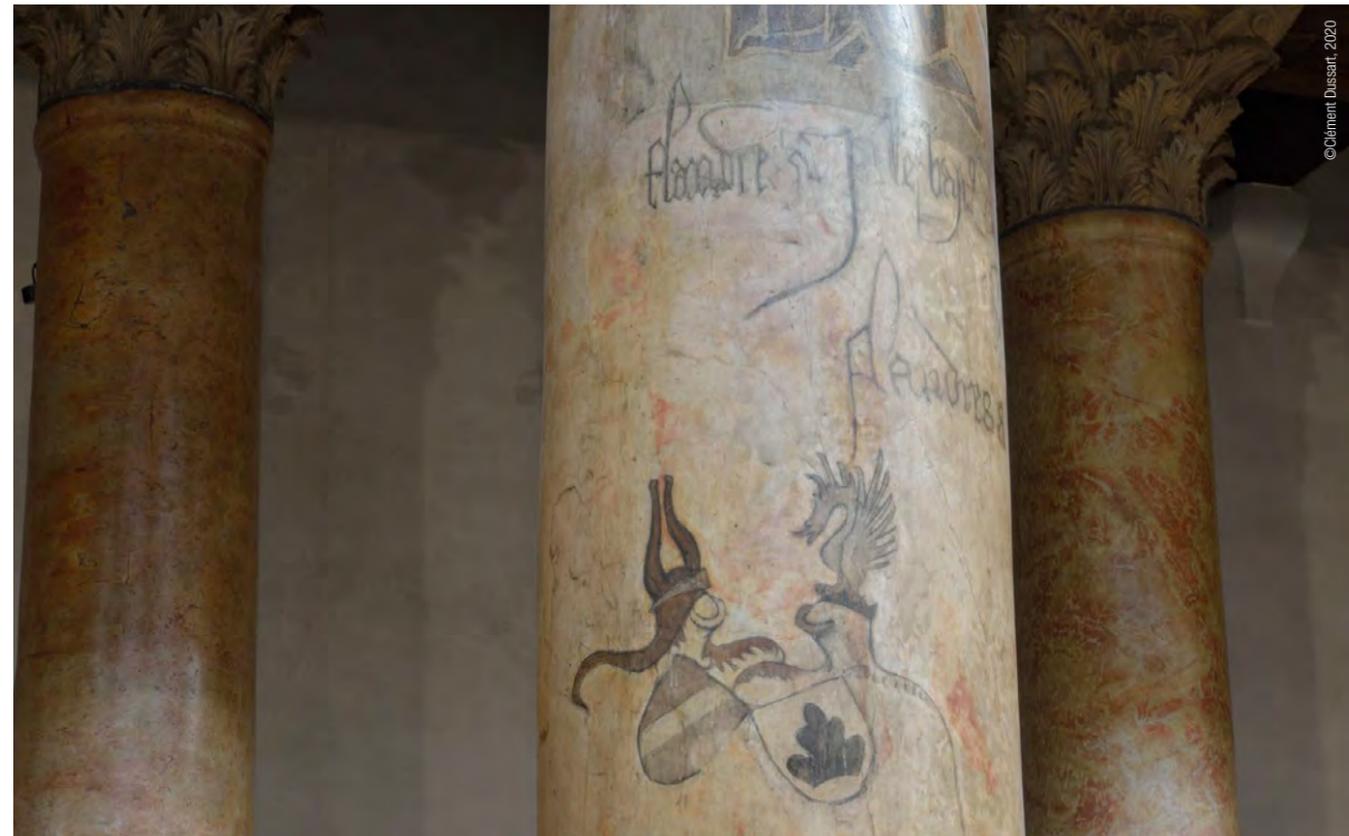
UNE TRANSGRESSION DE L'INTERDIT ?

Ces graffitis, malgré l'aura qu'aurait pu leur valoir leur antiquité, ont souvent été méconnus et assimilés à du vandalisme ; on a encore écrit très récemment que les gardiens des lieux saints à l'époque médiévale luttèrent contre ce fléau. La réalité était bien différente, du moins pour cette période. L'idée d'un *graffito* illicite est le fruit d'une trop grande foi dans le témoignage de *l'Evagatorium*. Contrairement aux auteurs des autres récits contemporains, Félix Fabri, dominicain à l'origine de ce récit de voyage en Terre sainte à la fin du XV^e siècle, transcrit les règles énoncées par les franciscains aux pèlerins dès leur arrivée en insistant sur la défense faite à tous de réaliser ce que nous appelons des graffitis. Cette interdiction, qui n'apparaît dans aucun autre témoignage, pourrait être la



Bethléem, basilique de la Nativité : graffiti de clercs précédés d'une croix (IX^e siècle)

simple expression de sa vision des choses, comme en témoigne sa longue diatribe visant les individus qui inscrivirent leurs noms et armes sur les murs des lieux saints. Les données extraites de *l'Evagatorium*, objet de nombreuses éditions et figure d'autorité parmi les récits de pèlerinage médiévaux doivent donc être critiquées et leur importance relativisée.



Bethléem, basilique de la Nativité : deux écus armoriés affrontés et surmontés d'un heaume cimé (XV^e siècle)

DES RÉCITS DE VOYAGES

La lecture des récits laissés par certains de ces voyageurs entre le XI^e et le XVI^e siècle fournit de nouveaux éléments de compréhension. Ce type d'écriture est une pratique répandue, sans doute mieux perçue qu'elle ne l'est aujourd'hui. Au VI^e siècle déjà, un pèlerin originaire de Plaisance (Italie), expliquait avoir écrit le nom de ses parents à Cana, lieu du premier miracle du Christ. À partir du XIV^e siècle, il n'est pas rare de trouver de petits indices sur ces pratiques, disséminés dans le texte : le chevalier laisse sa bannière, grave ses armes tandis que le bourgeois et le religieux peuvent écrire leur nom ; parfois un individu remarque, au cours de sa pérégrination, les marques de pèlerins de sa connaissance qui l'ont précédé. Citons en exemple le récit de Georges Lengherand, personnage influent de la ville de Mons, qui relève à plusieurs reprises lors de son voyage en 1486, de Venise au Caire en passant par Chypre, le nom de deux de ses compatriotes qui avaient entrepris ce pèlerinage quelques années auparavant.

DES SIGNIFICATIONS DIFFÉRENTES

L'étude de la matérialité des graffitis ne peut suffire à expliquer cette pratique. Dans ces espaces sans cesse visités, disputés et perpétuellement rénovés que sont les lieux saints, la plupart des supports anciens a été remplacée ou a tout simplement disparu et les quelques vestiges encore visibles ne représentent qu'une infime partie de ce qui existait. La diversité de leurs formes semble correspondre à différentes significations : cimiers monumentaux des XIV^e et XV^e siècles, noms à peine gravés dans le marbre et grandes lettres peintes pourraient être le reflet d'autant de cultures, d'époques et de préoccupations.

« ...vénérer et... laisser une marque de son passage... »

L'usage de laisser son nom, ses armes ou un autre signe rappelant sa présence et son passage semble faire écho à une autre pratique consistant à se procurer des reliques dans les lieux saints. Il est fréquent que les pèlerins racontent avoir prélevé de petits fragments d'une pierre touchée par le Christ ou détachée d'un monument associé très étroitement aux temps forts de sa vie, tout particulièrement à sa passion. La quête de ces reliques, dont certains font une ample provision, leur permet d'emporter un souvenir matériel d'une inestimable valeur. À leur retour, il n'est pas rare qu'elles soient offertes à un lieu de culte ou servent à fonder une nouvelle chapelle comme l'attestent les inventaires de trésors liturgiques. Un double mouvement existe : d'une part, se rendre dans les lieux saints pour les vénérer et y laisser une marque de son passage afin, peut-être, d'y perpétuer sa présence, d'autre part, emporter un morceau de ces monuments pour les rendre présents et leur donner une existence palpable dans son environnement quotidien.

REPENSER LA PRATIQUE DE L'ÉCRIT

L'analyse de ces vestiges matériels conjuguée à une meilleure connaissance des usages de cette époque et des différentes manifestations de la piété des pèlerins devrait permettre de mieux comprendre et définir ces traces que nous appelons par commodité des graffitis.



Bethléem, cloître de la basilique de la Nativité : graffito en mémoire d'une femme pèlerin (1541)

Le dénominateur commun de ces vestiges étant de n'appartenir à aucune des formes d'écriture traditionnellement reconnues pour cette période, il est très artificiel de réunir sous une même appellation, par simple commodité, les résultats de gestes et d'intentions probablement très différents : noms à peine visibles de quelques clercs venus du nord de l'Italie vers le IX^e siècle, grands cimiers de chevaliers français et allemands peints aux XIV^e et XV^e siècles et texte gravé en mémoire du trépas d'une femme originaire du sud de l'Italie au début du XVI^e siècle.

La compréhension et la contextualisation de ces formes d'écriture représentent un enjeu bien plus important que la simple connaissance des pèlerins et de leurs gestes. Il s'agit de documenter des pratiques souvent considérées aujourd'hui comme « marginales » mais dont l'importance, peut-être même la prépondérance, dans le paysage graphique de l'époque, doit être réévaluée.

Clément DUSSART < CESCM
clement.dussart@univ-poitiers.fr
<https://cescm.labo.univ-poitiers.fr/>

Le CCS, une solution durable pour décarboner nos économies ?

La mise en œuvre des technologies de Capture et de Stockage du Carbone (CCS), considérée comme nécessaire à la transition énergétique, constitue un défi considérable si on veut parvenir à « verdir » durablement l'économie.

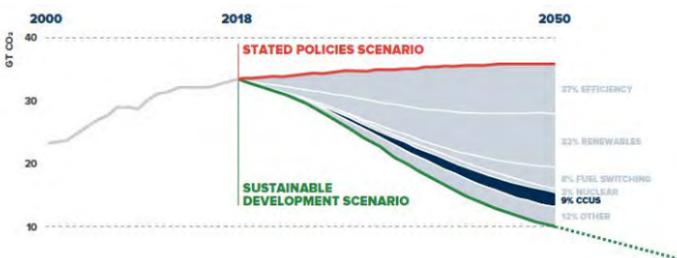
En dépit des alertes des climatologues, nos sociétés se sont avérées incapables d'infléchir leurs émissions de gaz à effet de serre sur les dernières années, la baisse observée récemment n'étant due qu'aux effets de la pandémie du coronavirus. Les technologies de capture et de stockage du CO₂ (Carbon Capture Storage en anglais, CCS), réduiraient ces émissions, en capturant le carbone issu de la combustion d'énergies fossiles, ou de biomasse (BECCS), et en l'injectant dans le sous-sol. Ce stockage peut se faire dans des gisements d'hydrocarbures épuisés, ou dans des aquifères salins profonds, sur terre ou off-shore, comme sur le site de Sleipner en Mer du Nord, en fonctionnement depuis 1996.

A l'heure actuelle, 51 sites de CCS sont en activité, 19 effectivement, le reste étant en développement. Le déploiement de ces pilotes est cyclique. Après une forte croissance jusqu'en 2010, il a connu ensuite un ralentissement, puis une reprise récente.

UNE PARTIE DE LA SOLUTION POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

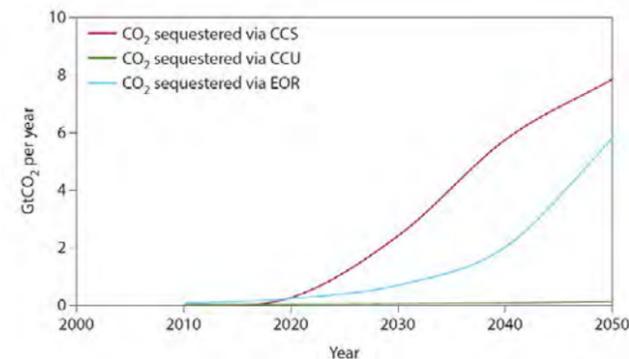
Bien sûr, recourir au CCS n'apparaît que comme une partie de la solution pour réduire nos émissions de CO₂, une solution qui prend acte de l'impossibilité à se passer des énergies fossiles à moyen-long terme (2050-100), et qui sera sollicitée si on veut « décarboner » nos économies, à savoir réduire progressivement leur émissions de carbone, pour parvenir à terme à une hypothétique neutralité carbone. Il s'agit aussi d'une solution partielle, dans le sens où le CCS ne peut être appliqué qu'à de gros émetteurs, dans le domaine de l'énergie sur des centrales thermiques à charbon, gaz ou biomasse, ou dans celui de l'industrie dans la sidérurgie, la chimie, les cimenteries ou la pâte à papier.

UNE SOLUTION À QUEL PRIX, ET À QUELLE ÉCHELLE ?



Les réductions d'émissions dans le scénario de développement durable de l'IEA (SDS)
© CCS Institute, Global Status of CCS, 2019, <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report>

Pour l'instant, le déploiement de cette technologie d'atténuation du changement climatique est loin d'avoir atteint un stade commercial. Sa viabilité repose sur la valeur du carbone qu'elle permet d'éviter, en tenant compte de la dépense d'énergie supplémentaire, la pénalité énergétique, qu'elle nécessite. Ce prix du carbone évité s'échelonne pour le CCS entre des valeurs de 60€/t pour le charbon à plus de 115€/t pour le gaz, bien loin du prix auquel s'échange le CO₂ sur le marché européen des droits à polluer, l'ETS : jusqu'en 2017 ce prix était inférieur à 10€/t. Depuis il s'est relevé pour des valeurs proches de 25€/tonne, toutefois encore insuffisantes pour viabiliser le CCS.



Potentiel de capture du CO₂ d'ici 2050 par EOR et utilisation du CO₂ (CCU)
© Mc Dowell et alii, "The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change", Nature Climate Change, Vol. 7, 2017.

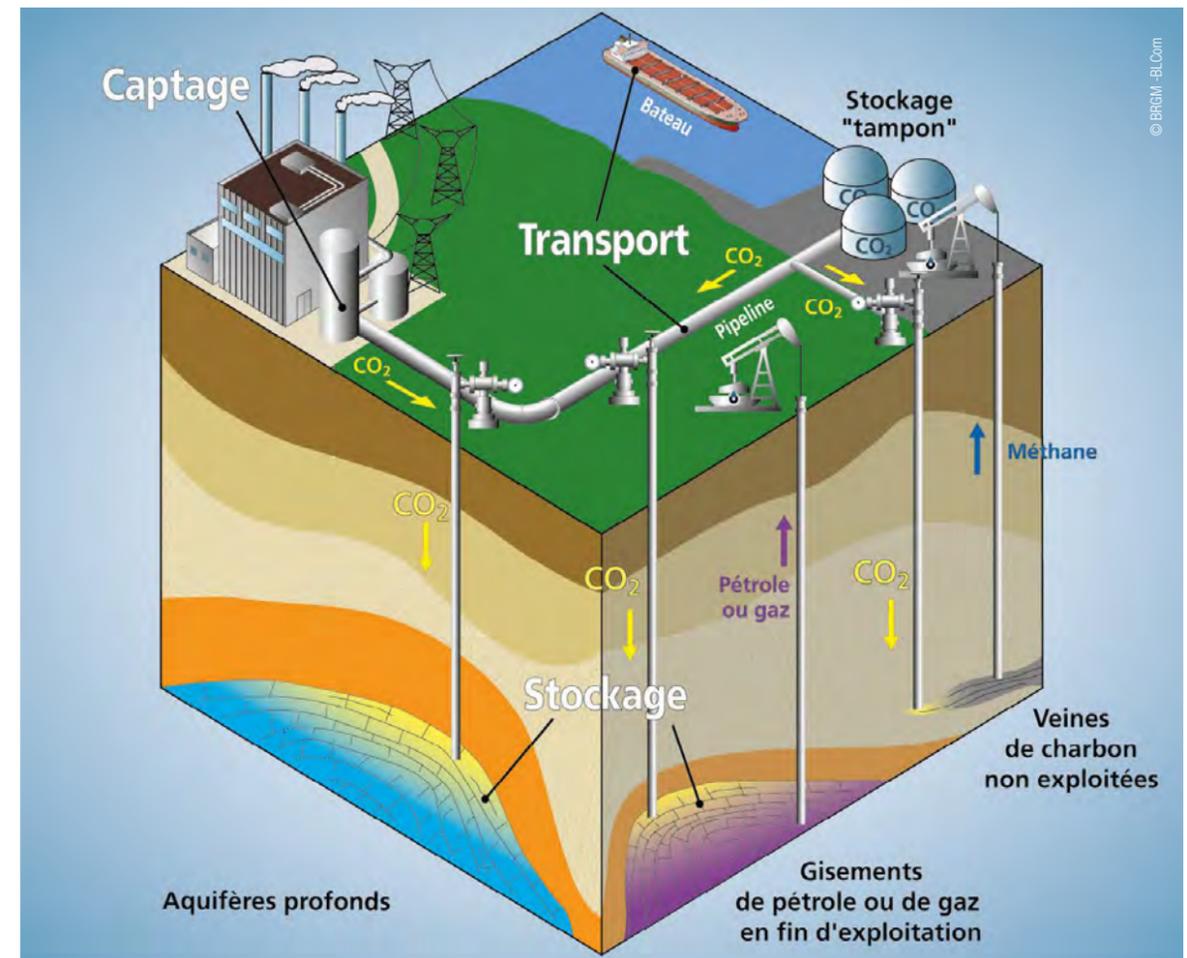
La faiblesse du prix du carbone n'est pas le seul frein au développement du CCS. Pour exercer une influence sur le changement climatique, le CCS devrait connaître un déploiement massif et rapide, dans le monde entier, et avec un glissement progressif des pays industrialisés vers les pays émergents. Il faudrait passer d'une capacité, déjà considérable, et encore hypothétique, de 2.5 Gt en 2030 à 8-10 Gt de CO₂ capturés par an en 2050. A l'heure actuelle, les pilotes de CCS installés ont une capacité en général de 1 Million de tonnes de CO₂ capturés par an, ce qui donne une idée du défi à relever. Cela correspondrait à l'installation d'une industrie qui ferait de 2 à 4 fois la taille des industries pétrolières actuelles, sur une courte période.

"... d'un déchet une ressource économique utilisable..."

Enfin dernier obstacle, et non des moindres : l'acceptabilité sociale du CCS est faible, et variable d'un pays à l'autre, à tel point qu'on parle à son propos d'un syndrome de NUMBY, « Not Under My Backyard ». Le cas le plus emblématique est celui des Länder allemands, qui avec une belle unité s'opposent à toute forme de CCS sur leur territoire. Cette opposition repose aussi sur le fait que le CCS pourrait contribuer à faire perdurer le verrouillage de nos sociétés sur les énergies fossiles, le « carbon lock-in » avec le soutien de l'ensemble des industries utilisatrices des énergies fossiles.

DE L'EOR AU CCS : L'HOMMAGE DU VICE À LA VERTU ?

Faut-il pour autant désespérer de cette technologie ? En fait, le CCS garde des atouts. Comme toute technologie, son émergence ne s'est pas faite au hasard : elle provient de l'industrie des hydrocarbures, qui a vite compris l'intérêt qu'elle avait d'utiliser le CO₂ issu de la séparation du gaz naturel pour améliorer la récupération du pétrole dans ses puits en voie d'épuisement, par des procédés de récupération assistée de pétrole (ou Enhanced Oil Recovery, EOR). Ainsi elle a fait d'un déchet une ressource économique utilisable, et cela en dehors de tout marché de droits à polluer. C'est d'ailleurs pourquoi on parle maintenant de CCUS, le U portant sur les usages du CO₂. Une généralisation de l'utilisation de l'EOR et son optimisation permettrait d'amorcer le déploie-



Captage, transport et stockage géologique du CO₂. Dans les usines émettrices de CO₂, le CO₂ est capté par séparation des autres gaz pour être ensuite comprimé et transporté par pipeline ou bateau jusqu'au lieu de stockage géologique : des aquifères profonds, des gisements de pétrole ou de gaz en voie d'épuisement ou des veines de charbon non exploitées.

ment du CCS. Avec une limitation : les zones d'émission de CO₂ ne correspondent que partiellement aux zones d'exploitation pétrolières, l'Asie comme l'Europe (à l'exception notable de la Norvège) étant moins bien loties que les régions productrices de pétrole.

L'EOR peut ainsi apparaître comme un facteur d'amorçage pour le développement du CCS, avec pour conséquence paradoxale d'intensifier l'extraction d'énergies fossiles émettrices de CO₂ : il faudrait donc extraire plus d'énergies fossiles, pour pouvoir capturer les émissions liées à leur combustion !

LE BECCS, UNE SOLUTION DURABLE ?

Un autre argument en faveur du CCS repose sur sa capacité, non seulement à limiter les émissions de CO₂, mais aussi à parvenir à des émissions négatives par le développement du BECCS (pour CCS on Bioenergy) : appliqué à l'utilisation énergétique de la biomasse, qui est neutre ou légèrement émettrice de carbone, le CCS peut aboutir à un bilan carbone négatif. Il faudrait donc prendre acte de la difficulté que nous avons à infléchir aujourd'hui nos émissions de CO₂ pour promouvoir une technologie qui nous permettra demain de l'extraire de

l'atmosphère. Ainsi le CCS, considéré initialement comme une solution transitoire, pourrait contribuer durablement à la décarbonation de nos économies. Avec, là aussi, des problèmes d'échelle considérables : le potentiel de capture du BECCS reste contraint par la disponibilité des différentes formes de biomasse, qui pourraient entrer en concurrence avec d'autres cultures nécessaires à l'alimentation, sans oublier la menace qu'elles feraient courir pour la biodiversité. Et de manière plus fondamentale, on peut s'interroger sur la viabilité d'une stratégie qui consiste à faire reposer nos espoirs de limitation du changement climatique sur le déploiement futur d'une technologie qui peine à s'imposer aujourd'hui.

Xavier GALIEGUE < LEO
xavier.galiegue@univ-orleans.fr
www.univ-orleans.fr/leo/

Iran, sécurité et sentiment de sécurité en milieu urbain

En parallèle des études pour lesquelles ils sont organisés, les déplacements scientifiques permettent d'entrer aussi en relation avec des populations de cultures différentes.



Le pont piétonnier Tabiat, très fréquenté, relie deux grands parcs au cœur de Téhéran. Avril 2017.

A sept reprises, entre avril 2013 et janvier 2019, des chercheurs en aménagement-urbanisme du laboratoire Cités, TERritoires, Environnement et Sociétés (CITERES-UMR7324 CNRS/Université de Tours) se sont rendus, sur une durée cumulée de 3 mois, à Téhéran, Ispahan, Yazd, Shiraz, Sanandaj ou Tabriz, pour le montage de partenariats internationaux.

Seuls, avec des amis ou collègues iraniens, avec des collègues européens, en groupe avec des étudiants iraniens, de jour comme de nuit, dans les centres-villes, les bazars, dans des quartiers très riches ou plus pauvres, dans les immenses centres commerciaux et dans les grands parcs publics, ils ont pu arpenter les villes iraniennes. Ils ont donc observé et échangé, avec les commerçants, les habitants, les étudiants, les jeunes, les moins jeunes, parfois avec des familles iraniennes, etc. L'enseignement premier est celui du profond décalage entre l'image de ce pays véhiculée à l'échelle internationale et celle qu'il est possible de construire en étant au contact avec le quotidien urbain iranien. Ayant peu accès à la sphère privée, le regard des scientifiques français s'est porté sur l'espace public, totalement approprié par la population. Les parcs et jardins, les places, les espaces extérieurs des mosquées, les larges avenues sont des lieux de promenade très prisés. Le weekend, ces parcs et jardins sont pris d'assaut comme aires de pique-nique. Quand les parcs sont pleins, certains s'installent sur les larges trottoirs des grandes avenues qui les bordent. L'ambiance y est bruyante mais tout en retenue : pas de démonstration affective entre adultes, seulement à destination des enfants qui jouent alentours. Cette quiétude est associée à une grande bienveillance de chacun envers chacun. Quand

perdus dans la grande ville, il devenait visible que les membres de la mission cherchaient leur chemin, rapidement, plusieurs personnes se proposent de les aider, mais sans insister ni s'appesantir s'ils montrent qu'ils n'ont pas besoin d'une telle aide. Chacun retourne alors à ses occupations ou poursuit son chemin.

Il en ressort une impression de grande sécurité. Les instruments de contrôle (caméras et autres dispositifs, présence policière) sont très localisés. On identifie les lieux où il est possible d'aller, ceux qu'il est prudent d'éviter. Sur les bâtiments officiels sont apposés de grands panneaux indiquant explicitement qu'il est interdit de prendre des clichés. Ces lieux sont finalement peu nombreux et l'ensemble de la ville n'est pas véritablement surveillé ni contrôlé. Peu de policiers visibles. Un collègue iranien dit ainsi : « *tu sais, la première fois que j'ai vu un pistolet-mitrailleur, c'est en arrivant à l'aéroport, à Paris* ».

UNE BIENVEILLANCE SUR FOND DE DICTATURE

Il ne faut cependant pas tomber dans l'angélisme car si les manifestations de la surveillance sont peu nombreuses, tous savent que, derrière, l'Etat iranien ne pardonne pas aux contrevenants. Il y a donc une forme d'autocontrôle parfaitement intégrée. Un contrôle social existe : chacun est et se sent, dans l'espace public, sous le regard de l'autre. Aussi, n'y a-t-il pas de débordement, peu d'attitudes équivoques ou impolies. Mais ce regard n'est pas insistant, encore moins scrutateur. Si besoin, un coup d'œil réprobateur (et parfois bienveillant envers le touriste chez qui on suppose qu'il n'est pas au fait de toutes les nuances) suffira.

Entre 2013 et 2019, la possibilité de prendre des photographies a largement évolué : au début des années 2010, il était conseillé de ne pas en prendre de crainte d'être à proximité d'un bâtiment « stratégique » sans pouvoir le savoir. Ensuite, avec le développement très rapide des smartphones en Iran, avec la mode des *selfies* et la systématisation des panneaux d'interdiction auprès de ces lieux, le touriste comme l'iranien peuvent sans aucun souci capturer des images sauf là où cela est explicitement proscrit.

DES RELATIONS DE CONFIANCE

La sécurité et le sentiment de sécurité sont partagés par tous les usagers de la ville. La question de l'argent est révélatrice. Le système bancaire iranien n'est pas connecté au système international : pas de carte Visa, MasterCard ou American Express. Le touriste doit venir avec des euros ou des dollars en poche en quantité suffisante pour son séjour et aller dans un bureau de change. Etant donné le cours du rial, on a toujours une grosse liasse de billets sur soi. Les Iraniens aussi puisque le système national de cartes de retrait ne s'est développé que récemment. Pour autant, le nombre d'agressions dans l'espace public est très faible.

"Cette sécurité ressentie ... la conséquence de valeurs socialement partagées, de normes... de la crainte... ?"

Plus encore, dans les commerces où tout le monde se presse, l'acheteur donne sa carte bancaire au vendeur qui part dans l'arrière-boutique puis revient, rend la carte, remet le petit ticket de la transaction. Le vendeur ne présente pas le boîtier à code à l'acheteur mais s'absente quelques secondes. En fait l'acheteur donne sa carte ET SON CODE, que tout le monde alentour peut entendre. Cela ne pose problème à personne, c'est parfaitement normal. A l'étonnement des touristes répond le sourire de l'iranien faisant comprendre ainsi combien ce pays est sûr, qu'il n'y a pas de vol, peu de violence. Pour les iraniens ayant vécu ne serait-ce que quelques mois en France, l'étonnement du touriste est compris. Mais la scène racontée au retour en France suscite le scepticisme. L'explication est simple : pour un occidental, il n'est pas possible d'imaginer un code bancaire non secret. Notre propre scepticisme rejoignait celui des personnes à qui nous avons pu, par la suite, relater cette scène.



Le bazar de Tajrish, quartier aisé de Téhéran. Au second plan à droite, des foulards portés de façon stricte, au premier plan, de façon plus libre. Janvier 2019.



Le palais Hasht Behesht (palais des 8 paradis) à Ispahan, septembre 2016.

UNE CULTURE DE LA SOUPLESSE

Les multiples systèmes institutionnels officiels relatifs à la sécurité sont, en Iran, assez fréquemment contournés. Les VPN permettent d'accéder à n'importe quel site sur le Web malgré les nombreux interdits politiques, religieux, sociaux, géostratégiques, sexuels. Trouver de l'alcool n'est pas si difficile mais la consommer sur l'espace public est totalement inenvisageable. Il est interdit, pour les hommes, de monter dans les voitures de métro réservées aux femmes mais le faire par inadvertance ne suscite aucune réprobation : s'apercevoir de sa méprise conduit simplement à changer de voiture à la station suivante. On pourrait multiplier les exemples de la très grande souplesse du fonctionnement social de ce pays et de ses habitants. L'image de cette souplesse est le foulard des femmes, obligatoire, et l'on constate qu'il est porté de la façon la plus stricte ou comme un accessoire de mode, voire de séduction, tenant parfois à peine sur le haut du chignon.

Cette sécurité ressentie dans l'espace public est-elle la conséquence de valeurs socialement partagées, de normes plus ou moins intégrées ou de la crainte de la répression ? Cela s'entremêle très certainement. Il en ressort néanmoins une rupture dans la compréhension de l'Iran, entre images vécues et images institutionnelles occidentales.

Denis MARTOUZET < CITERES
denis.martouzet@univ-tours.fr
<http://citeres.univ-tours.fr/>

Le hamster des champs devient citadin

Utiliser des zones périurbaines pour la conservation d'une espèce animale sauvage peut sembler originale. Une étude imagine pourtant réintroduire le hamster commun en ville pour le sauver de l'extinction.

Le hamster commun (*Cricetus cricetus*) est une espèce de rongeur vivant en Europe et en Asie. Seul hamster vivant à l'état sauvage, il est menacé et protégé au niveau international. Le hamster commun vit principalement en milieu agricole mais on le retrouve également en milieu urbain. Sa présence en ville s'explique par la destruction de son habitat originel due majoritairement à l'étalement urbain grandissant ou encore aux changements de pratiques culturales rendant le milieu agricole hostile au développement de l'espèce. Il peut ainsi vivre en périphérie ou dans le centre de grandes villes européennes comme Vienne, Simferopol ou encore Moscou. Une étude, intégrée dans un projet de recherche plus global, a pour objectif de vérifier l'existence d'une plasticité écologique* de l'espèce suffisante pour permettre son adaptation à des milieux urbanisés. Il s'agit également d'apprécier la pertinence de l'utilisation de zones périurbaines pour la conservation de l'espèce.

VIVRE EN PLEIN CŒUR D'UN HÔPITAL ...

Cette étude a porté sur l'écologie et le comportement d'une population urbaine de hamsters communs. La zone d'étude était située sur le terrain de l'hôpital Kaiser-Franz-Josef au sud de la ville de Vienne, en Autriche. Ce site caractéristique de l'environnement citadin (présence



Hamster commun (*Cricetus cricetus*) appelé également grand hamster ou hamster d'Alsace



Entrée d'un terrier de hamster commun

et activités humaines, espaces verts, éclairage, circulation...) a permis d'étudier comment le hamster commun traite ces éléments urbains sans la présence de cultures agricoles lui fournissant habituellement de la nourriture et une couverture végétale protectrice.

L'équipe d'éthologistes et d'écologues a enregistré les activités de surface de 35 hamsters en mai 2015, pendant la période de reproduction. Chaque animal a été observé pendant 15 minutes. Un total de 66 suivis a pu être analysé. L'équipe a également déterminé le nombre et la position des différents terriers.

Les résultats montrent que si les animaux consacrent beaucoup de temps à la vigilance, ils passent la plupart de leur temps à chercher de la nourriture, ce qui est conforme au budget d'activité de l'espèce. Ces mêmes travaux révèlent que les hamsters restent majoritairement à l'intérieur de leur terrier pendant leur période d'activité. Cela pourrait s'expliquer par la proximité des sources de nourriture dans l'environnement urbain. Ainsi, les hamsters peuvent s'alimenter et se nourrir de manière fractionnée, avec de fréquents allers-retours vers leur terrier. Un tel ajustement permettrait aux hamsters de réduire le temps d'exposition aux menaces hors du terrier et de consommer la nourriture dans un lieu sûr.

UNE ATTENTION DE TOUS LES INSTANTS

Si la recherche de nourriture est l'activité principale des hamsters, ils consacrent également une part importante de leur journée à la vigilance. En conséquence, leur prospection quotidienne de nourriture est souvent interrompue par ces comportements, ce qui peut engendrer des coûts énergétiques. Pour les espèces proies, être aux aguets est un comportement antiprédateur coûteux mais fondamental qui assure leur survie. Bien que l'environnement urbain réduise la diversité des espèces de prédateurs naturels du hamster commun, la mortalité due à la prédation est toujours perceptible. Mais cette vigilance pourrait aussi refléter une réaction aux perturbations anthropiques. En effet, les hamsters qui vivent en milieu urbain sont considérés comme plus prudents et vigilants que leurs homologues ruraux.



L'étude menée à Vienne pour évaluer le comportement de hamsters vivant au sein d'un hôpital était un préalable à une expérimentation où des femelles hamsters issues d'un élevage expérimental ont été relâchées dans deux sites de l'Eurométropole de Strasbourg dans le cadre du projet ALISTER.

RECHERCHE DE NOURRITURE : DEUX STRATÉGIES SEXUELLES DIFFÉRENTES

Les scientifiques ont constaté que les femelles passaient plus de temps à chercher de la nourriture que les mâles. Ce résultat n'est pas surprenant car elles ont des besoins énergétiques élevés pendant la période de reproduction liés à la gestation et à la lactation. Les mâles, eux, changent fréquemment de terrier pendant la période d'accouplement. Ils stockent donc probablement moins de nourriture dans leur terrier temporaire, ce qui réduit leur recherche alimentaire. En revanche, les mâles consacrent plus de temps à la vigilance que les femelles, probablement pour détecter la présence de concurrents potentiels et/ou d'éviter les rencontres agressives.

"... une flexibilité pour s'adapter à ces nouvelles conditions environnementales..."

Les différents comportements de vigilance ont des impacts énergétiques variables. Les mâles expriment régulièrement et plus souvent que les femelles, un comportement où ils relèvent la tête. Cela leur permet de percevoir et analyser des informations sur l'environnement et ne provoque qu'une brève interruption des activités. Il peut même s'exprimer pendant la recherche alimentaire, ce qui réduit dans une certaine mesure le coût de cette vigilance. Les femelles en revanche ont plutôt exprimé un comportement de freezing (immobilité soudaine) qui implique une interruption plus longue et complète de l'activité en cours. Ce type de comportement permet d'obtenir des informations limitées sur l'environnement mais son immobilité a l'avantage de ne pas nécessiter d'effort physique. Les femelles choisiraient donc une stratégie de vigilance qui demande le moins d'efforts énergétiques possibles contrairement aux mâles.

UN HABITAT OPTIMISÉ

Enfin, la répartition des terriers sur les espaces verts en fonction de la proximité des arbres et des niveaux de bruit a été examinée. Les terriers sont plus souvent situés près d'arbres et de buissons qu'en pleine terre. Ces choix de localisation s'expliquent par la protection de

la végétation contre les prédateurs et la disponibilité de la nourriture à proximité des arbres et des buissons. Les avantages offerts par cette localisation semblent surmonter les inconvénients de la proximité ou du niveau des nuisances sonores. L'utilisation limitée de la communication vocale chez les hamsters (c'est une espèce solitaire) pourrait expliquer leur tolérance et/ou leur indifférence aux bruits ambiants contrairement aux oiseaux. De plus, la population suivie vit à proximité de cet hôpital depuis de nombreuses générations sur plus de 60 ans. Elle est probablement habituée à ces perturbations répétitives qui s'apparenteraient à un bruit de fond, quelle que soit leur intensité. Certaines publications ont en effet suggéré la possibilité d'une diminution à long terme des capacités sensorielles des espèces urbaines.

Malgré les contraintes d'un environnement anthropisé, le hamster commun possède une flexibilité pour s'adapter à ces nouvelles conditions environnementales et en tirer profit. Ces recherches suggèrent que les zones urbaines pourraient être utilisées pour la réintroduction de l'espèce puisque la destruction de l'habitat naturel du hamster commun est en constante expansion partout en Europe occidentale, avec de graves conséquences sur son état de conservation.

Cette étude a été financée par l'Union Européenne et le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Dans le contexte des enjeux liés à sa conservation, des travaux de sauvegarde de l'espèce ont été financés par le LIFE (Instrument Financier de l'Union Européenne consacré aux projets Environnementaux) et menés dans le cadre du projet ALISTER (Alsace Life Hamster) entre 2013 et 2019 visant à mettre en place des mesures de conservation ciblées et pérennes dans le but de restaurer les populations de hamster commun en Alsace.



Odile PETIT < PRC
odile.petit@cnrs.fr

https://www6.val-de-loire.inra.fr/physiologie_reproduction_comportements

<https://ethologiecognitiveetsociale.wordpress.com>

Comportements d'une femelle hamster filmée à Vienne en environnement urbain dans le cadre du projet Alister :
<https://youtu.be/rZf1hqsMVgg>

Cacatoès : l'expression par la plume

C'est seulement depuis peu que des observations ont révélé que les oiseaux, aussi, ressentent et expriment leurs émotions, identifiables sur leur face.



Chez les mammifères incluant l'Homme, les expressions faciales constituent un signal visuel fonctionnel pour communiquer aux autres membres du groupe ses motivations ou ses émotions. Ce champ de recherche est resté longtemps inexploré chez les oiseaux du fait de la croyance que leur face est immobile. L'absence de tels indicateurs comportementaux observables constitue un frein dans l'étude des émotions notamment positives, bien plus subtiles et difficiles à explorer que les émotions négatives.

Les scientifiques reconnaissent aux Psittaciformes (perroquet, cacatoès, ara...) des capacités cognitives comparables à celles des grands singes ou des dauphins. Mais qu'en est-il de leur capacité à ressentir des émotions plaisantes ? C'est à cette question que des scientifiques du laboratoire Physiologie de la Reproduction et des Comportements (PRC - UMR 7247 CNRS/Université de Tours/INRAE/IFCE), du ZooParc de Beauval et de l'Association Beauval Nature pour la Conservation et la Recherche tâchent d'apporter des réponses. Ils ont pu décrire des expressions faciales s'exprimant spécifiquement dans des contextes à valence* émotionnelle positive : les cacatoès couvrent leur bec et dressent les plumes de leur nuque.

ARRÊT SUR IMAGES

Les observations comportementales ont été menées avec des cacatoès à Huppe jaune (*Cacatua galerita*) du ZooParc de Beauval, entraînés pour le spectacle en vol libre et non-exposés au public. Les scientifiques ont, dans un premier temps, établi un répertoire de paramètres observables sur la face des oiseaux. Ils ont identifié 3 zones où les plumes peuvent se dresser de manière indépendante : la crête, les joues et la nuque. Par la suite, ils ont filmé l'activité d'un groupe de cinq oiseaux quotidiennement jusqu'à obtenir 5h de film par oiseau.

L'intégralité des films a ensuite été décryptée avec un arrêt sur image toutes les 5 secondes pour noter l'activité de l'oiseau ainsi que la position des plumes de la crête, des joues et de la nuque en fonction du répertoire établi : lisses ou dressées. Les résultats montrent que lorsque les cacatoès sont engagés dans des activités traduisant un état de calme et une valence émotionnelle positive (toilette, contacts sociaux positifs, repos), ils rabattent les plumes des joues sur leur bec et dressent les plumes de la nuque. Lorsqu'ils sont au repos, les plumes des joues vont même venir couvrir l'intégralité de la mandibule inférieure du bec.

Dans une étude précédente, les mêmes chercheurs avaient montré pour la première fois que les Aras Jaune-et-bleu (*Ara Ararauna*) dressaient leurs plumes et rougissaient lorsqu'ils étaient dans un contexte à valence émotionnelle positive. Les aras ont la particularité d'avoir une partie des joues dépourvue de plumes qui peut passer du blanc au rouge par afflux sanguin en quelques secondes. L'expérience consistait à observer les oiseaux lors de sessions composées de deux phases : le soigneur le plus familier place l'oiseau sur un perchoir et se tient face à lui ; il interagit en le regardant et en lui parlant (valence positive pour l'oiseau). Durant la phase de contrôle, le soigneur reste à la même distance de l'oiseau mais n'interagit plus, lui tournant le dos (valence moins positive). Les résultats montraient que les oiseaux dressaient leurs plumes et rougissaient lors de l'interaction avec le soigneur.

DES CAPACITÉS D'EXPRESSION ENCORE À IDENTIFIER

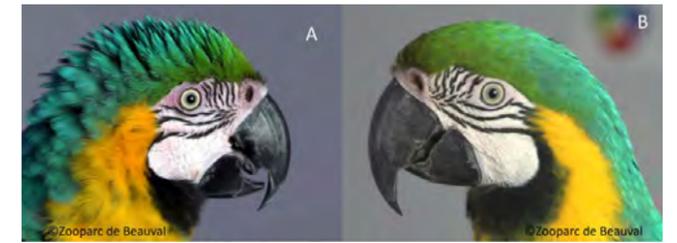
Ces résultats inédits chez les oiseaux livrent des premiers indicateurs du niveau d'excitation et/ou de la valence émotionnelle, des composantes clés de l'état affectif chez les animaux. Des observations complémentaires sont encore nécessaires pour comprendre la diversité des émotions encodées par ces expressions faciales et leur implication dans le fonctionnement et la cohésion des groupes sociaux. La diversité de plumages et des systèmes sociaux observée chez les oiseaux laisse penser qu'il reste encore de nombreuses découvertes à faire sur leurs capacités d'expression émotionnelle. Considéré depuis le XIXe siècle par Charles Darwin comme propre à l'espèce humaine, le rougissement des joues observé chez les aras (et présent chez bien d'autres espèces d'oiseaux) pourrait également contribuer à une meilleure compréhension de l'origine évolutive et de la fonction de cette information visuelle.

"...des indicateurs faciaux d'émotions positives jusqu'alors ignorés."

Ces résultats obtenus chez les Psittaciformes ont conduit les scientifiques à mener des observations chez un Galliforme, la caille Japonaise (*Coturnix japonica*), animal modèle pour l'étude des émotions chez les oiseaux. Afin de créer un contraste de valence émotionnelle, ils ont placé individuellement des cailles plus ou moins peureuses dans un environnement non familier avec du grillage au sol (valence négative). Puis, ils ont ouvert une paroi coulissante afin de leur donner accès à un sol recouvert de copeaux. Ce substrat de choix permet l'expression de bains de poussière, une activité considérée comme plaisante pour l'oiseau (valence positive).

ENTRE ÉMOTIONS ET BIEN-ÊTRE

L'ensemble de l'expérience a été filmé et une image a été extraite toutes les 5 secondes pour chaque caille. Avec un logiciel d'analyse d'images, les scientifiques ont mesuré trois paramètres sur les images : la hauteur des plumes de la calotte, l'angle formé par les plumes de la gorge et la surface de la pupille. L'hypothèse des scientifiques était que s'il existait des indicateurs faciaux d'émotions positives, de plus amples variations dans ces paramètres devraient être observées chez les cailles les moins peureuses (i.e. plus à même d'évaluer positivement leur environnement) que chez les cailles les plus peureuses (i.e. plus à même d'évaluer négativement leur environnement). Les scientifiques ont ainsi pu montrer un dressement des plumes de la calotte et une



A) un ara avec les plumes de la calotte (dessus de la tête) et de la nuque dressées et la peau des joues rougie ; B) un ara avec les plumes de la calotte et de la nuque lisses et la peau des joues blanche.



A) un cacatoès au repos avec les plumes de la nuque dressées et les plumes des joues qui viennent couvrir la mandibule inférieure du bec ; B) un cacatoès avec les plumes lisses.

dilatation de la pupille chez les cailles les moins peureuses pendant la phase avec accès aux copeaux. Ces variations ne sont pas retrouvées chez les cailles les plus peureuses démontrant ainsi que l'expérience subjective des animaux peut se traduire par des mouvements de plumes de la calotte et de la pupille. Ces résultats inédits montrent des indicateurs faciaux d'émotions positives jusqu'alors ignorés.

Le dressement des plumes faciales observé à la fois dans l'ordre des Psittaciformes et des Galliformes, suggère que ce comportement pourrait être particulièrement pertinent comme indicateur de la valence et/ou du niveau d'excitation émotionnelle chez un grand nombre d'espèces d'oiseaux, notamment pour les espèces pour lesquelles l'absence d'une crête laissait peu présager de tels potentiels de communication visuelle au niveau de la face. Ces recherches permettront, à terme, de mieux comprendre le langage corporel des oiseaux et ainsi être capables de prendre en compte leur bien-être plus efficacement.

*Valence : désigne la qualité intrinsèquement agréable ou désagréable d'un stimulus ou d'une situation

Aline BERTIN < PRC
aline.bertin@inrae.fr

Baptiste MULOT < ZOOPARC DE BEAUVAL
baptiste.mulot@zoobeauval.com

Cécile ARNOULD < PRC
cecile.arnould@inrae.fr

Léa LANSADE < PRC
lea.lansade@inrae.fr

https://www6.val-de-loire.inrae.fr/physiologie_reproduction_comportements

<https://www.zoobeauval.com/>

Espaces portuaires de Corse : un équilibre homme/nature à surveiller

Parce que les activités de plaisance ne cessent de croître mondialement, il est impératif d'évaluer leurs impacts sur les écosystèmes marins pour maintenir une bonne qualité des eaux, notamment dans la région corse plutôt préservée à ce jour.

Une zone géographique comportant des aménagements et des équipements permettant d'accueillir des bateaux de pêche ou de plaisance est considérée comme un port selon une directive européenne 2000/59 CE. Depuis une quarantaine d'années, le nautisme et la plaisance sont en essor constant. Avec un chiffre d'affaires qui dépasse les 100 millions d'euros, ils représentent désormais des secteurs de référence en Corse, qui souhaite devenir une terre d'excellence et d'exemplarité dans ces domaines. Cependant, ce développement de l'activité s'accompagne d'impacts environnementaux non négligeables à courts (construction des ports) et longs termes (fréquentation croissante des plaisanciers). Face à la demande croissante de postes d'accueil de plaisance et à la raréfaction des sites naturels propices à l'aménagement portuaire, l'offre devient de plus en plus rare.

PROTÉGER LE MILIEU MARIN

Depuis 2008, la Commission européenne a approuvé la Directive stratégie pour le milieu marin, législation visant à protéger et conserver l'environnement marin, en maintenant un "bon état écologique" dans les eaux de l'Union Européenne. C'est ainsi qu'en 2011, dans les zones portuaires, la certification européenne "Ports propres" a été mise en place dans l'optique



La moule de Méditerranée, une espèce de référence pour le suivi de la qualité des eaux.



La patelle de Méditerranée, un nouvel indicateur de la contamination des producteurs primaires

de préserver le milieu marin, de réduire et gérer les déchets générés par l'activité nautique. Pour aller encore plus loin dans cette démarche, l'Office de l'Environnement de la Corse et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ont créé le concept de "Ports Propres et Accueillants" pour valider une démarche de gestion environnementale. Plusieurs axes d'actions prioritaires ont émergé pour soutenir le développement durable du nautisme et des infrastructures industrielles, gérer de façon réfléchie le tourisme et l'environnement, conserver l'image de marque de la Corse, le tout dans un esprit de coopération inter-partenaires.

"...de nombreuses pressions liées aux activités humaines."

Dans ce contexte, le projet pluridisciplinaire QUAMPO (QUALité des Milieux marins dans les zones PORTuaires en Méditerranée) a été lancé fin 2019, pour trois ans, sur trois sites d'étude (Saint-Florent, l'île Rousse et Calvi) et un site de référence (Pointe de la Revellata). Les échantillonnages sont réalisés sur trois espèces d'invertébrés marins, aux modes de vie différents (filtreur pour la moule *Mytilus galloprovincialis*, brouteur pour la patelle *Patella caerulea* et détritivore pour l'holothurie *Holothuria tubulosa*). Reposant sur trois disciplines (biologie, chimie et écologie), QUAMPO a pour objectifs d'évaluer l'impact des polluants chimiques sur l'état de santé des espèces marines, de comparer leurs réponses interspécifiques, de définir l'état chimique et écologique des différents compartiments (eau/sédiments) et d'évaluer le risque pour la santé humaine, en vue de définir la qualité du milieu portuaire en Haute-Corse. Cette démarche s'inscrit dans les stratégies de la mesure 80 du Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche (FEAMP) qui vise à protéger et à améliorer la connaissance du milieu marin pour améliorer la qualité de vie le long du littoral européen. Ces travaux sont entrepris actuellement au LIENSs (Laboratoire Littoral, Environnement et Sociétés - UMR 7266 CNRS/La Rochelle Université) en partenariat avec la STATION de REcherches Sous-marine et Océanographique (STARESO) de Calvi en Corse.



Port de Calvi.

LA MÉDITERRANÉE, UN OcéAN MINIATURE

En Méditerranée, les zones littorales, par leur forte densité de population, sont soumises à de nombreuses pressions liées aux activités humaines. Malgré cela, la Méditerranée est une des régions d'Europe présentant la plus grande diversité grâce à la présence de nombreuses espèces endémiques. Mais les pressions qu'elle subit la rendent vulnérable au niveau écologique. L'absence quasi-totale de marée réduit la dilution des polluants et empêche les phénomènes naturels de dépollution observés dans les océans. De plus, ce bassin semi-fermé présente un faible hydrodynamisme. Les polluants (éléments traces, polluants organiques...) atteignent ainsi un point de saturation plus rapidement que dans les océans alentours et la réponse aux pressions environnementales est beaucoup plus rapide que dans les grands océans. Par ces spécificités, la mer Méditerranée représente un site d'étude privilégié des pressions et changements d'origine anthropique sur l'environnement.

DES CONTAMINATIONS DE PLUSIEURS ORIGINES

En zone côtière, la contamination des zones portuaires, soumises à la fois aux rejets terrestres, aux contaminations anthropiques et à une contamination chronique spécifique à l'activité portuaire elle-même (carénage de bateaux, navigation de plaisance, pêche, trafic maritime, utilisation de peinture antisalissure, tourisme, etc.), est considérée comme une menace sérieuse sur l'écosystème marin. En Corse, le suivi de la contamination aux éléments traces dans les zones côtières démontre que la qualité des eaux est relativement bonne comparée au reste de la Méditerranée. Cependant, il reste crucial de développer une méthode solide pour évaluer et surveiller la diffusion des différents polluants (organiques et inorganiques) dans l'environnement, ainsi que leurs effets potentiels sur les organismes marins indigènes, que ce soit individuellement ou en combinaison avec d'autres substances.

LA PLURIDISCIPLINARITÉ EN ACTION

Le projet QUAMPO vise à mutualiser plusieurs disciplines afin d'accroître la complémentarité entre les acteurs du monde maritime et de réunir les acteurs de la recherche scientifique, les entreprises du monde socio-économique, les industriels, les partenaires et gestionnaires environnementaux ainsi que les établissements de formations universitaires. Pour cela, le projet se décline en 5 enjeux clés : (I) avancements et poursuites de recherche sur la qualité des eaux littorales et sur les potentiels effets des polluants émergents dans les zones économiques en Haute-Corse (notamment les zones portuaires), (II) étude d'impact et suivis environnementaux pour déterminer le devenir et les zones d'accumulation des polluants persistants dans les écosystèmes aquatiques, (III) démarche sciences humaines et sociales sur les représentations de l'eau pour apporter des informations sur le lien entre la qualité des eaux littorales et les activités maritimes, (IV) mise à disposition des données collectées et sensibilisation sur la qualité des eaux, (V) développement des liens entre acteurs et partenaires du projet QUAMPO.

L'objectif final sera la mise en place d'un dispositif de structuration et de valorisation des recherches (sciences exactes et sciences humaines et sociales) en lien avec les thématiques porteuses d'impact social, économique et environnemental identifiées dans QUAMPO et les perspectives d'avenir portant sur l'économie circulaire et la croissance bleue.

Marion PILLET < LIENSs
marion.pillet@univ-lr.fr

Michel MARENGO < STARESO
michel.marengo@stareso.com

Helene THOMAS < LIENSs
helene.thomas@univ-lr.fr

<https://lienss.univ-larochelle.fr/>

www.stareso.com



Les eaux souterraines sous la loupe

Les eaux souterraines représentent environ 20 % des réserves d'eau douce de la planète. Avec le réchauffement climatique, leur étude s'intensifie pour en optimiser la gestion.

A Poitiers, au cœur du Jardin botanique universitaire, Domaine du Deffend, on peut observer de drôles de champignons bleus ! Il s'agit en fait des bouches d'accès aux forages du Site Expérimental Hydrogéologique (SEH), destinés aux études hydrogéologiques menées par des chercheurs de l'Institut de Chimie des milieux et matériaux de Poitiers (IC2MP - UMR 7285 CNRS/Université de Poitiers). Dédié à la connaissance, la gestion, la prévision et la valorisation des ressources en eau en milieu fortement hétérogène, le SEH fait partie des 6 sites nationaux « Réseau national de sites hydrogéologiques H+ ». Le laboratoire possède ainsi un lieu unique, propriété de l'Université de Poitiers, qui a permis aux chercheurs d'effectuer le suivi des paramètres hydrogéologiques et pédologiques en continu depuis une vingtaine d'années.

PRÈS DE 20 ANS DE DONNÉES

Parmi les 33 hectares du Domaine du Deffend, localisé sur la commune de Mignaloux-Beauvoir, 12 hectares sont occupés par le SEH avec l'avantage pour les scientifiques de pouvoir y réaliser de nombreux forages et des recherches s'inscrivant dans la durée. Ainsi 42 forages d'une profondeur de 130 mètres d'un diamètre de 15 à 20 cm sont dédiés aux hydrogéologues. Les forages traversent l'aquifère du Dogger (Jurassique Moyen, -180 à -154 millions d'années) constitué de roches sédimentaires calcaires pour atteindre les marnes toarciennes, le niveau imperméable.



Vue du jardin botanique universitaire Domaine du Deffend

L'aquifère du Dogger est d'une importance capitale dans le département de la Vienne car il constitue le réservoir majeur en eau de la région de Poitiers. Il est exploité à des fins d'alimentation en eau potable, industrielle et agricole.

Dès la création du site en 2002, des capteurs ont été installés dans les forages. Les mesures recueillies sont intégrées dans une base de données du réseau ORE H+, infrastructure de recherche dédiée à l'étude des eaux souterraines, développée en collaboration avec l'Observatoire des Sciences de l'Université de Rennes. Cette quantité d'informations relative à l'aquifère du Dogger concerne la structure géologique du réservoir, la caractérisation des écoulements dans les forages, les propriétés pétrophysiques des roches carbonatées (par exemple le calcaire), la dynamique de la nappe en condition d'écoulement naturel et/ou forcé (pompages ou chocs hydrauliques) et la dynamique du transport en écoulement forcé (avec traçage à la fluorescéine).

L'étude des propriétés pétrophysiques des roches a permis de caractériser le type de roche, leur porosité, leur perméabilité et leur composition chimique. Du sol au sous-sol sur le SEH, se trouvent environ 30 mètres de formations superficielles plus ou moins argileuses, 100 mètres de calcaires (roches carbonatées du Jurassique Moyen), puis des marnes (Toarcien),



Les deux laboratoires mobiles et le trépied qui permet de faire descendre les sondes de diagraphies destinées au recueil des paramètres physiques via les forages.

de nouveau 15 mètres de roches calcaires du Jurassique Inférieur et enfin le granite. Le calcaire surmontant le granite est également aquifère (infra-Toarcien) mais n'est pas exploité dans la région de Poitiers car son épaisseur est trop faible.

LE CHEMINEMENT DE L'EAU

Dans un souci économique et environnemental, les scientifiques se sont vu accorder l'autorisation de réinjecter l'eau des pompages - puisqu'elle ne subit aucun traitement - dans un forage du site. Après la phase d'acquisition des données sur l'écoulement des eaux souterraines, l'objectif de ces pompages est de suivre l'évolution de la pression de l'eau qui renseignera sur les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère karstique. Les chocs hydrauliques (slug-tests), quant à eux, consistent à générer une impulsion de pression très brève à un endroit donné de la nappe et observer la vitesse à laquelle la pression va être dissipée. Cela permet de renseigner sur les propriétés de l'aquifère à emmagasiner et faire circuler l'eau de la nappe phréatique.

"...de nombreuses pressions liées aux activités humaines."

L'injection d'un traceur (la fluorescéine, par exemple) dans la zone aquifère permet de déterminer la direction, la vitesse et le processus des écoulements et liaisons hydrauliques entre les différents forages. Cependant, des interrogations subsistent quant à la dispersion de l'eau au cours de son traçage en raison d'un trait morphologique de type micro vallée sur le site. Ce creux topographique pourrait être la traduction en surface d'un accident géologique (faille) en profondeur. De nouveaux forages ont été réalisés de part et d'autre de cette faille supposée pour permettre aux hydro-géologues de vérifier cette hypothèse.

L'interprétation de toutes ces données par les scientifiques a d'ores et déjà donné lieu à une conceptualisation réaliste du réservoir et à des modélisations des écoulements dans ce type de contexte.

ANTICIPER LA DIMINUTION DE LA RESSOURCE

Le SEH accueille désormais aussi des études pédologiques. Ainsi, 5 forages de type flûte de pan d'un diamètre de 11 cm ont été créés sur le site. Ces

forages espacés d'un mètre chacun sont d'une profondeur respective de 20, 15, 10, 7,5 et 5 mètres. Ils sont équipés d'une sonde qui mesure en continu l'humidité du sol, c'est-à-dire la quantité d'eau contenu dans sa porosité. La connaissance des variations de l'humidité du sol en fonction du temps et en comparaison avec le régime pluviométrique (quantité et fréquence) permettra de comprendre l'écoulement de l'eau dans le sol (environ 0,8-1m de profondeur) et dans la zone non saturée (entre le sol et la nappe du Dogger à environ 20 m de profondeur). L'eau qui s'écoule dans le sol et la zone non saturée en dessous des racines des plantes peut participer à la recharge du réservoir. Il est important de connaître cette donnée notamment dans le contexte du changement climatique qui devrait se traduire par une augmentation de la température (avec l'évaporation de l'eau du sol) et d'un changement dans la répartition annuelle de la pluviométrie (réduction de l'écoulement de l'eau dans le sol).

Lors de la réalisation de ces nouveaux forages, des échantillons (cuttings) ont été prélevés. Ils serviront à préciser la nature des roches rencontrées et leur composition chimique en incluant l'arsenic et le sélénium ; ces derniers peuvent être présents dans les remplissages des karsts. L'analyse de ces cuttings est destinée à déterminer leur granulométrie, leur composition chimique et minéralogique : des paramètres importants contrôlant l'écoulement de l'eau et sa qualité.



Les carottes extraites des forages sont recueillies et conservées à l'IC2MP depuis le début des expérimentations. De bas en haut sur le cliché, on peut observer à 153 m de profondeur les calcaires du jurassique supérieur, à 158 m du granite altéré, à 163 m le granite

Au-delà d'être un site de recherche, le SEH est un véritable outil de recherche et de formation pour un certain nombre de structures telles que l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, l'ENSEGID à Bordeaux, IFP school à Rueil-Malmaison, et bien entendu pour les étudiants de l'Université de Poitiers. Cet outil permet aux étudiants de travailler dans des conditions réelles identiques à celles qu'ils rencontreront dans les métiers de gestion de la ressource en eau.

Élisabeth NAU < IC2MP
elisabeth.nau@univ-poitiers.fr

Gilles POREL < IC2MP
gilles.porel@univ-poitiers.fr

Laurent CANER < IC2MP
laurent.caner@univ-poitiers.fr

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

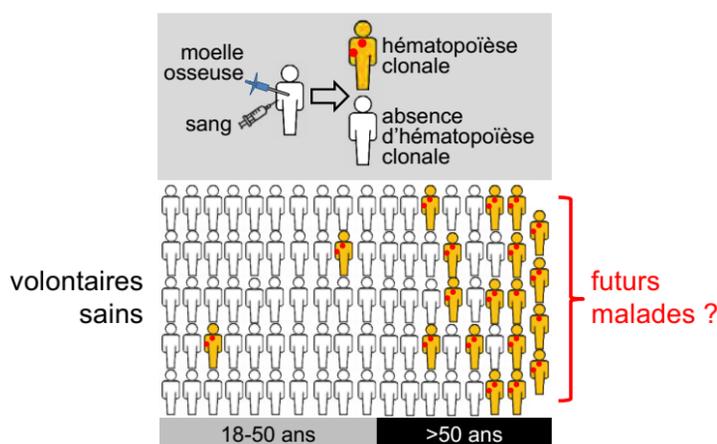
Les développements leucémiques à la cinquantaine, quels sont les risques ?

40 % de la population de plus de 50 ans présente dans la moelle osseuse des mutations génétiques retrouvées dans les leucémies aiguës.

L'hématopoïèse clonale ou CHIP (Clonal Hematopoiesis of Indeterminate Potential) correspond à la présence chez des sujets sains de mutations dans des gènes clés du processus physiologique de production des cellules sanguines, appelé hématopoïèse. Ces mutations étaient jusqu'alors connues pour être associées au développement de pathologies hématologiques, comme les leucémies aiguës. L'hématopoïèse clonale, initialement identifiée dans les cellules sanguines, a pour la première fois été mise en évidence dans la moelle osseuse de volontaires sains, avec une prévalence de près de 40% à partir de 50 ans. Cette étude de l'équipe LNOx (Niche leucémique et métabolisme oxydatif, ERL7001 / EA7501, Tours), associée à l'équipe Développement Hématopoïétique et Leucémique (Sorbonne Université, UMRS 938), suscite quelques inquiétudes (Blood Adv. 2020 Aug 11;4(15):3550-3557).

UN CONCEPT ÉMERGENT

La moelle osseuse est le lieu de production des cellules sanguines matures à partir de cellules souches hématopoïétiques, ce processus étant appelé hématopoïèse. La moelle osseuse est le siège d'hémopathies malignes, comme les leucémies aiguës, caractérisées par une prolifération incontrôlée de cellules immatures. Ce processus est multi-génique et implique notamment les gènes TET2, DNMT3A, ASXL1, JAK2... Depuis quelques années est apparu le concept d'hématopoïèse clonale de signification indéterminée qui correspond à l'identification de mutations de ces gènes dans des cellules sanguines de sujets ne présentant aucune hémopathie maligne. Plus fréquente chez les sujets âgés, il a été montré que l'hématopoïèse clonale est associée à un risque accru de leucémie aiguë (1% /an), notamment par acquisition de mutations supplémentaires.



Résumé schématique de l'étude.

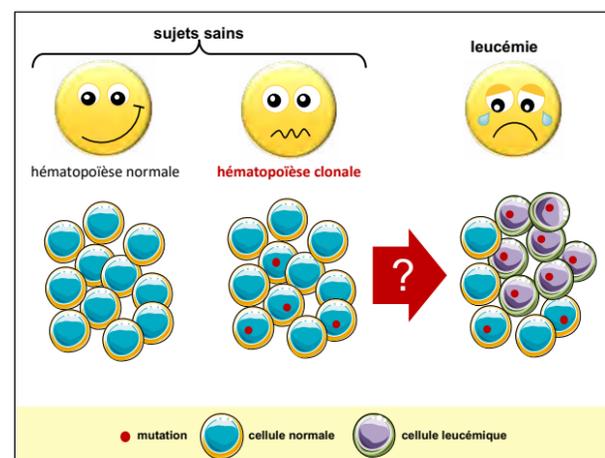
DE LA DÉCOUVERTE DANS LE SANG...

Il est classiquement admis en cancérologie qu'il est toujours préférable de caractériser les cellules malignes sur le site de la tumeur. Les études pionnières qui ont décrit l'hématopoïèse clonale ont toutes été réalisées sur le sang et non la moelle osseuse. Elles ont rapporté qu'environ 20% des personnes âgées présentent des mutations dans leurs cellules sanguines, avec une prévalence qui augmente sensiblement avec l'amélioration des techniques. En outre, ces études ont été réalisées sur des patients indemnes d'hémopathie maligne mais pas systématiquement indemnes d'autres affections, dont des tumeurs solides, qui pourraient avoir un impact sur la présence de ces mutations. Cette absence d'étude de l'hématopoïèse clonale sur la moelle osseuse de vrais sujets sains questionne sur sa prévalence et sa signification en terme de risque d'hémopathie maligne.

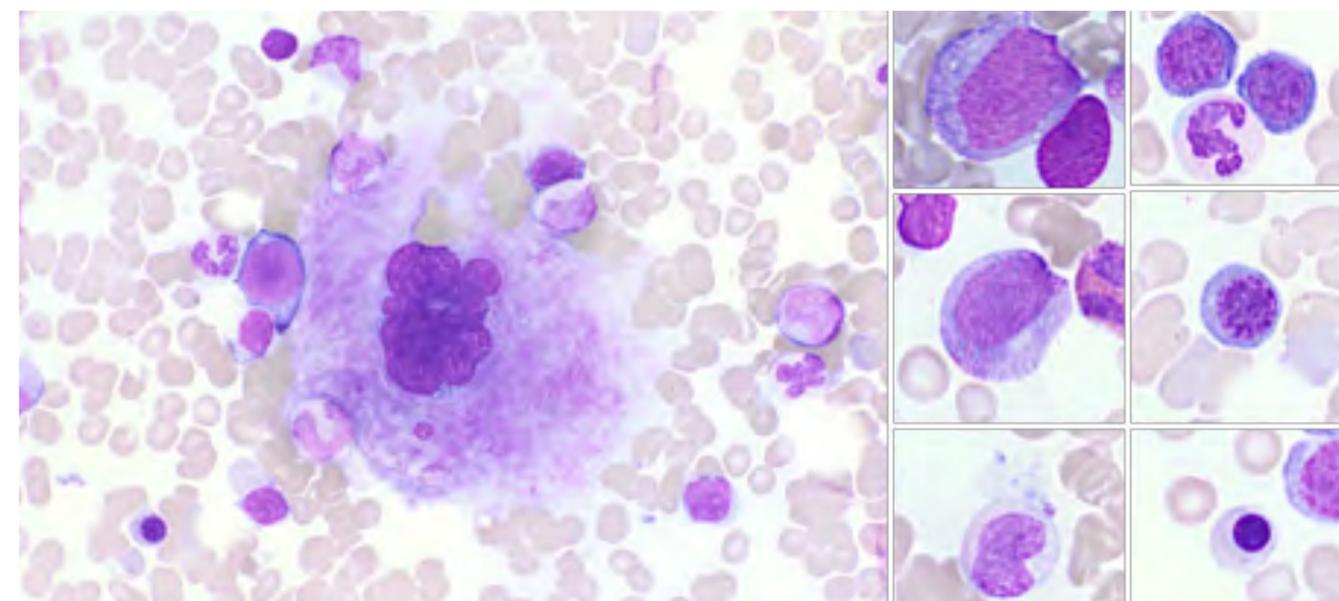
... À L'ANALYSE DE LA MOELLE OSSEUSE

Pour étudier la prévalence de l'hématopoïèse clonale dans la moelle osseuse de sujets sains, une stratégie en 2 étapes a été mise en place par l'équipe LNOx (ERL 7001, Tours) en association avec l'unité UMRS 938 (Centre de Recherche Saint-Antoine, Paris) : la création d'un protocole de recherche clinique pour réaliser des prélèvements de moelle et de sang chez les volontaires sains, et la recherche de mutations de 41 gènes par séquençage de nouvelle génération (NGS).

Le protocole HEALTHOX, piloté par le service d'hématologie biologique du CHRU de Tours a été validé par deux comités d'éthiques et déclaré à l'AFFSAPS et au ClinicalTrials.gov. Avec l'aide du Centre d'Investigation Clinique CIC 1415, 102 volontaires sains âgés de 18 à 81 ans ont été



Représentation schématique de l'hématopoïèse clonale de signification indéterminée et de son risque d'évolution.



Analyse cytologique de la moelle osseuse (myélogramme) par microscopie optique.

inclus après un interrogatoire minutieux et un examen clinique complet. Les critères d'exclusion comprenaient notamment la présence d'un antécédent de maladie hématologique ou de cancer, l'exposition à des chimio- ou radiothérapies, une maladie infectieuse ou inflammatoire majeure. Pour chacun, il a été prélevé un tube de sang et un échantillon de moelle osseuse par une ponction médullaire au niveau du sternum. Les prélèvements ont été analysés par 3 hématologues du CHRU de Tours, qui n'ont pas identifié d'anomalie au niveau de l'hémogramme et du myélogramme.

" Un panel de 41 gènesanalysé par séquençage de nouvelle génération ...dans la moelle et dans le sang "

Un panel de 41 gènes fréquemment mutés dans les hémopathies malignes a été analysé par séquençage de nouvelle génération (NGS) dans la moelle et dans le sang. La recherche d'hématopoïèse clonale a pu être réalisée dans la moelle osseuse de 89 volontaires et 19 sujets (21.3%) présentaient des mutations. Sur ces 19 volontaires, 14 présentaient une seule mutation, 4 avaient 2 mutations, et 3 mutations étaient présentes chez le dernier individu. Les gènes les plus fréquemment mutés étaient DNMT3A (12 mutations chez 9 volontaires), TET2 (7), ASXL1 (2) et JAK2 (2). La présence d'une hématopoïèse clonale était augmentée avec le vieillissement, l'âge médian des sujets mutés étant de 62,8 ans et celui des non-mutés de 38,6 ans ($p < 0,0001$). De plus, 43,6% des individus de plus de 50 ans avaient un clone muté, alors que ce taux était seulement de 4,0% avant 50 ans. De manière tout à fait intéressante, il a été retrouvé une parfaite concordance entre le sang et la moelle osseuse quant à la présence de mutations.

Les résultats de cette étude réalisée avec une technique ultra-sensible dans la moelle et le sang de vrais sujets sains sans anomalie médullaire sont en faveur d'une fréquence très élevée d'hématopoïèse clonale de signification indéterminée après 50 ans. Cette fréquence autour

de 40 % est beaucoup plus importante que celle rapportée dans les études précédentes réalisées dans des conditions moins drastiques. Elle interroge, voire elle peut être source d'inquiétude... et la présence d'une hématopoïèse clonale doit être interprétée avec énormément de précaution. Une question importante demeure : quels sont les co-facteurs endogènes et exogènes qui vont favoriser une évolution vers une leucémie chez certains sujets ? Comme co-facteurs participant à l'accumulation de remaniements médullaires, on peut suspecter le fond génétique, le stress oxydatif induit notamment par l'exposition à divers toxiques, la survenue de phénomènes infectieux ou inflammatoires au cours de la vie. Cette liste n'est pas exhaustive et des études en cours devraient permettre d'affiner les connaissances du processus physiopathologique responsable de l'évolution de l'hématopoïèse clonale en leucémie aiguë.

Au final, deux questions sociétales émergent : faut-il rechercher l'hématopoïèse clonale après 50 ans comme un facteur de risque d'hémopathie, et que faire quand on la trouve ?

Noémie RAVALET < LNOx
noemie.ravalet@univ-tours.fr

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

François DELHOMMEAU < LNOx
francois.delhommeau@aphp.fr

<http://www.lnox-team.org/>

Réparation d'une plaie cutanée : le microbiote commensale en action

Une récente étude démontre que la flore qui colonise notre peau peut accélérer la réponse réparatrice en cas de blessure. Elle apporte de nouvelles bases pour développer des stratégies thérapeutiques innovantes pour traiter les plaies cutanées.



La peau est une structure complexe qui recouvre le corps et le protège. Elle comprend trois structures : l'épiderme, le derme et l'hypoderme. L'épiderme est la couche superficielle. Il est composé de trois types de cellules : des kératinocytes (produisant la kératine et autres facteurs), des mélanocytes (qui produisent la mélanine), des cellules lymphoïdes (gd-T) et Langerhans. Le derme est la couche intermédiaire. C'est un tissu conjonctif qui soutient l'épiderme, protège le réseau vasculaire et les fibres nerveuses. Le derme se divise en deux couches : le derme papillaire et le derme réticulaire. Il comporte différents types de cellules : des fibroblastes, histiocytes et macrophages. L'hypoderme ou tissu sous-cutané est un tissu adipeux sous le derme.

UNE CICATRISATION EN DEUX PHASES

La réponse élaborée par la peau à toute atteinte de son intégrité est un phénomène complexe de réparation mettant en jeu des facteurs individuels comme l'âge, la génétique, comorbidités, système immunitaire et inflammatoire. La réparation ou la cicatrisation se déroule en plusieurs phases successives faisant intervenir de nombreuses cellules, cytokines et facteurs de croissance.

La première phase est inflammatoire et vasculaire. Elle est caractérisée par une lésion tissulaire et capillaire suivie d'hémostase avec agrégation des plaquettes, infiltration des neutrophiles, monocytes et cellules dendritiques et autres cellules sanguines qui contrôlent les

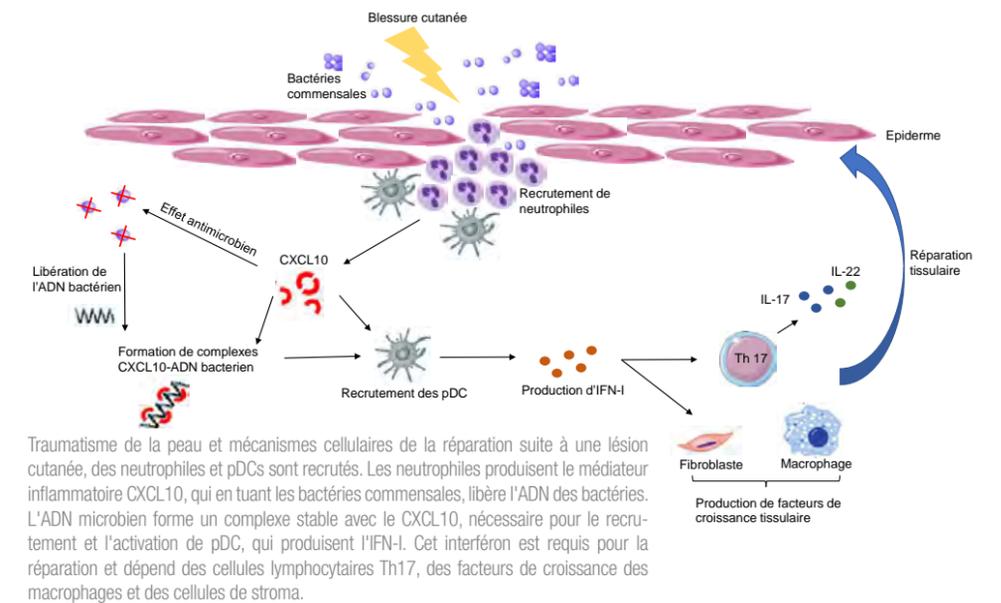
bactéries, et enlèvent les débris tissulaires. Cette phase se termine avec la formation de nouveaux vaisseaux durant 3-5 jours. La seconde phase est réparatrice, elle dure 10 jours. Elle est marquée par l'activité des fibroblastes et la synthèse de collagène I et III : ils conduisent à la formation d'une matrice du tissu conjonctif sous-cutané ainsi que le remodelage par les myofibroblastes qui induisent une contraction de la plaie et un réalignement des fibres de collagène. La cicatrisation laisse une marque plus ou moins visible qu'on appelle une cicatrice.

DES BACTÉRIES PROTECTRICES ET RÉPARATRICES

Chez la plupart des gens, une blessure de peau entraîne une réponse inflammatoire et réparatrice bien coordonnée qui stimule la restauration de l'intégrité de la barrière cutanée. Pour les patients souffrant de plaies chroniques, cette réponse inflammatoire est soit absente, soit hyperactive. Cela provoque la formation d'un tissu anormal accompagné d'un défaut de la barrière épidermique qui persiste sur le long terme. C'est pourquoi il est essentiel de comprendre les mécanismes qui initient et régulent la réponse inflammatoire après une blessure cutanée afin de développer des nouvelles stratégies thérapeutiques. La colonisation bactérienne d'une plaie est un processus normal et habituellement non dangereux. Le rôle des micro-organismes dans le processus de cicatrisation n'est pas entièrement élucidé, cependant il est bien connu qu'une infection par des pathogènes décèle la guéri-

son ou, pire, met en danger l'organisme. Mais les bactéries commensales que l'on trouve sur la surface de la peau, sont nécessaires pour la réparation d'une plaie.

L'équipe de recherche réunissant le Service de dermatologie au Centre hospitalier universitaire vaudois (Lausanne – Suisse), la Société Artimmune, le laboratoire Immunologie et Neurogénétique Expérimentales et Moléculaires (INEM UMR 7355 CNRS/Université d'Orléans/CHRO) et le laboratoire Transgénése et archivage d'animaux modèles (TAAM - CNRS), propose une nouvelle hypothèse sur le mécanisme cellulaire et moléculaire de réparation.



"...transplanter... des bactéries commensales bénéfiques ... pour initier une réponse réparatrice"

Elle met en évidence le rôle fondamental des bactéries commensales de la peau (appelées aussi microbiote cutané) dans ce procédé. Les chercheurs ont montré que, lors d'une blessure cutanée, le microbiote cutané est transféré de la surface de la peau dans le derme où certaines bactéries ont la capacité de déclencher une réponse inflammatoire spécialisée dans l'accélération de la guérison de la plaie.

La découverte que la flore cutanée commensale de la peau promeut la guérison a des implications cliniques importantes. D'une part, comme le traitement des plaies repose sur des principes de réduction de la charge bactérienne pour prévenir l'infection, ces résultats mettent en garde sur une utilisation prolongée d'antibiotiques et d'antiseptiques en contexte de plaies aiguës. Ensuite, parce que les plaies chroniques sont souvent colonisées par certains types de bactéries qui retardent la guérison, réduire la quantité de ces bactéries nocives puis transplanter localement des bactéries commensales bénéfiques pourraient s'avérer efficace pour initier une réponse réparatrice.

La peau représente une barrière importante de notre corps. Une lésion cutanée traumatique crée une plaie et l'organisme répond par un programme de réparation. Cette réparation est complexe et plusieurs acteurs y participent comme des cellules inflammatoires, les cellules de l'épiderme et du tissu sous-cutané, les vaisseaux, le stroma avec des fibroblastes et des facteurs de croissance. Les chercheurs ont étudié le processus de réparation /cicatrisation des plaies cutanées chez l'homme et la souris en se focalisant sur le rôle des microbes commensales de la peau.

Suite à une lésion, des cellules sanguines, les neutrophiles, et des cellules du système immunitaire, les cellules dendritiques plasmacytoïdes (pDCs) sont rapidement mobilisées au niveau de la plaie. Les neutrophiles et pDCs sont essentielles, car la diminution de l'une ou l'autre de ces cellules empêche le processus de réparation.

Les neutrophiles produisent aussi un médiateur inflammatoire dénommé CXCL10, qui a également une activité antimicrobienne. Le CXCL10, en tuant les bactéries commensales, libère l'ADN de ces bactéries dans la plaie. Cet ADN microbien forme alors avec le CXCL10 l'environnement nécessaire pour mobiliser et activer des pDC, qui à leur tour produisent l'interféron inflammatoire de type I qui défend l'organisme d'attaque de pathogènes comme les bactéries.

Cet interféron est une protéine produite par l'organisme. Il entre dans le processus de réparation à partir de cellules lymphocytaires et de facteurs de croissance des macrophages et des cellules de stroma. Avec cette étude, il est démontré que la réparation est retardée en absence des bactéries commensales. En effet, les souris axéniques, élevées sans microbiote, ou les souris traitées avec des antibiotiques, ont un retard de réparation/cicatrisation.

Les résultats obtenus soulignent le rôle critique du microbiote cutané et du complexe d'ADN microbien avec CXCL10 pour la réparation médiée par les neutrophiles et pDC. La contribution des bactéries commensales à la restitution de la barrière cutanée est manifeste.

Bernhard RYFFEL < INEM
bernhard.ryffel@cnrs-orleans.fr

Pauline CHENUET < ARTIMMUNE
pauline.chenuet@artimmune.com

<https://www.univ-orleans.fr/es/inem>

<http://www.artimmune.com/>

Les diagrammes de phases ou la découverte de l'harmonie au cœur des matériaux

Les phénomènes physico-chimiques intervenant au sein des matériaux soumis à de fortes sollicitations environnementales (température, pression, rayonnement...) ne peuvent pas systématiquement s'analyser ou être anticipés « à la paillasse ». La modélisation entre alors en jeu.



La thermodynamique est souvent une discipline jugée difficile d'accès. Elle est toutefois essentielle pour obtenir des informations pratiques et facilement manipulables, prévoir des équilibres entre atomes ou composés (phases), ou comprendre les mécanismes réactionnels. Les représentations graphiques de ces transformations physico-chimiques de la matière se présentent notamment sous la forme de diagrammes de phases.

La première utilisation des diagrammes de phases intervient généralement en amont d'essais expérimentaux pour prévoir les phases attendues à l'équilibre thermodynamique. Leur utilisation est donc essentiellement prévisionnelle. La seconde utilisation intervient lorsque l'on cherche à comprendre les mécanismes et les chemins réactionnels qui ont conduit à ces phases. Cette fois-ci le raisonnement est inverse, le chercheur part de l'observation, et remonte grâce aux diagrammes de phases aux mécanismes réactionnels mis en jeu.

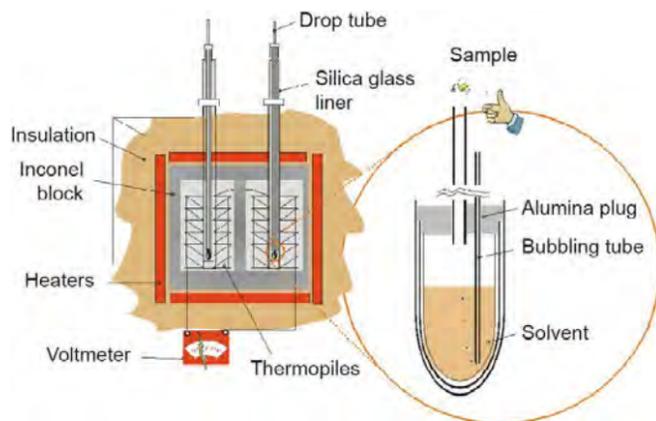


Schéma d'un calorimètre de chute / dissolution. L'échantillon initialement à température ambiante est jeté dans la cellule de mesure du calorimètre (contenant un bain de dissolution), placée à une température fixe. La chaleur de dissolution est mesurée. On peut notamment remonter à l'enthalpie de formation du composé testé.

© Alexandra Navrotsky, Peter A. Rock Thermochemistry Laboratory, University of California, Davis

Lorsque les diagrammes de phases sont correctement modélisés, à partir de données expérimentales fiables et en quantité suffisante, il est possible de construire des bases de données thermodynamiques permettant par la suite des calculs d'équilibre dans des systèmes d'ordres très élevés à trois, quatre, ou cinq constituants, et même bien plus.

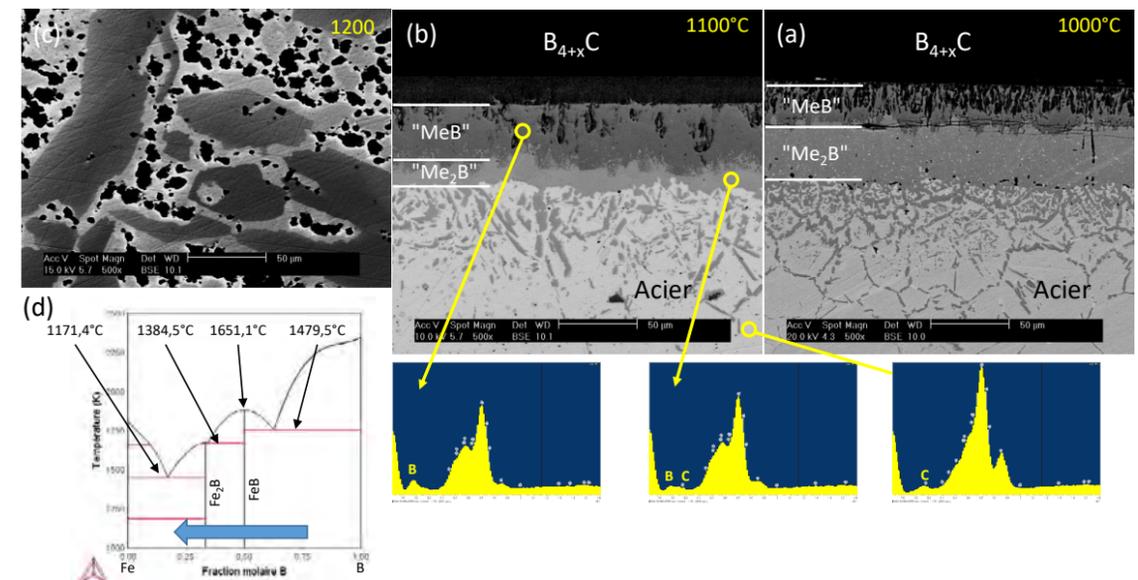
UN TRAVAIL PRIMORDIAL DE PRÉDICTION

Dans le cas des réacteurs nucléaires de génération IV, l'Institut de Recherche sur les Céramiques (IRCER-UMR 7315, CNRS/Université de Limoges) s'est positionné sur l'étude* des interactions entre le carbure de bore (B_4C), matériau absorbant neutronique, et une gaine en acier inoxydable de type 316L. Toutefois, au lieu de se lancer dans des essais pouvant être assez longs, une étude prévisionnelle à l'aide des diagrammes de phases a été préférée. En se focalisant sur les constituants majeurs entrant dans ces interactions (le fer Fe et le bore B), il est possible de limiter l'étude du système Fe-B-C à celui de Fe-B en première approximation. A la lecture attentive du diagramme, les chercheurs observent la présence de deux composés définis : FeB et Fe_2B . On note aussi un point particulier du côté riche en Fe, à $1171,4^\circ C$, qui correspond à la plus basse température d'apparition du liquide de ce système Fe-B. L'utilisation de pastilles de B_4C dans une gaine en acier inoxydable ne pourra se faire que si la température est bien inférieure à celle correspondant à l'apparition de la phase liquide.

Forts de ces premières prévisions, des pastilles de B_4C et d'acier ont été mises en contact et portées à différentes températures (1000 , 1100 , et $1200^\circ C$) pendant 4 h. A 1000 et $1100^\circ C$, deux couches entre B_4C et l'acier se développent, l'une plus riche en bore que l'autre.

A partir de ces observations microscopiques, on remarque que ces deux couches développées sont en lien étroit avec le diagramme de phases. En effet, la phase MeB se développe proche de B_4C , et la phase Me_2B se développe proche de l'acier. On retrouve donc bien les deux composés définis du diagramme de phases, indiquant que des phénomènes de diffusion d'espèces sont actifs.

A $1200^\circ C$ une microstructure totalement différente apparaît, avec des grains de tailles très importantes, qui n'ont pas pu se développer à l'état solide, mais nécessairement via une phase liquide.



Observation des sections polies de couples B_4C /Acier (316L) après essais d'interaction à 1000 (a), 1100 (b) et $1200^\circ C$ (c) par microscopie électronique et analyse élémentaire EDS. Le diagramme Fe-B (d) montre les composés existants ainsi que les températures clés du système. Ici, Me correspond au fer, mais aussi au chrome et au nickel présent dans l'acier 316L.

Cette étude préliminaire uniquement basée sur le diagramme binaire Fe-B n'est toutefois pas satisfaisante. En effet, dans le système Fe-B-C, il est possible de développer des composés et des solutions ternaires. Il n'existe cependant que très peu de données ternaires, et pas de réels diagrammes Fe-B-C. Le laboratoire a donc décidé de modéliser ce système ternaire Fe-B-C.

DES BASES DE DONNÉES À ENRICHIR CONSTAMMENT

Le point de départ de toute modélisation thermodynamique repose sur une compilation exhaustive des données de la littérature. Par chance, des diagrammes binaires très bien décrits existent. Il ne manquait donc plus que des données ternaires.

Seuls deux composés ternaires : $Fe_{23}(B,C)_6$ et $Fe_3(B,C)$ sont mentionnés dans la littérature. Le premier n'existe qu'à basse température et il n'y a pas d'information sur l'étendue de ces solutions en composition et en température. Des essais spécifiques ont dû être réalisés pour délimiter les domaines d'équilibre à trois phases, ainsi que des mesures calorimétriques pour déterminer la capacité calorifique de compositions particulières et leur enthalpie** de formation.

A partir de ces données expérimentales (équilibres triphasés) et thermodynamiques, le système Fe-B-C a pu être modélisé entièrement par la méthode CALPHAD.

"...prévoir les équilibres ... comprendre le chemin réactionnel entre matériaux."

Cette modélisation confirme la disparition de la phase $Fe_{23}(B,C)_6$ avec la température, alors que la phase $Fe_3(B,C)$ se maintient en température au moins jusqu'à l'apparition du liquide à 1473 K (ou $1200^\circ C$).

Les diagrammes de phases peuvent être utilisés pour prévoir les équilibres entre phases, ou comprendre le chemin réactionnel entre matériaux. Ils sont basés sur des données expérimentales et contrairement aux idées reçues, ils ne sont pas tracés à la main sur la base d'observations phénoménologiques. Ils sont calculés, à partir de bases

de données thermodynamiques, créées par modélisation des fonctions thermodynamiques de chaque phase. Lorsque des expérimentations sont difficilement réalisables, il est toujours possible de se rabattre sur des calculs thermodynamiques pour obtenir a minima une estimation (souvent proche de la réalité) des phases à l'équilibre.

Ainsi, dans le cadre de ce projet, l'IRCER a pu modéliser les composés ternaires identifiés dans la littérature, définir leurs domaines de stabilité en température et en composition, ainsi que leurs propriétés thermodynamiques. Ce travail a conduit à la réalisation d'une base de données permettant les calculs prévisionnels pour différentes températures et différentes compositions en fer, bore et carbone. Il aura aussi permis d'identifier la température maximale d'utilisation de ces assemblages B_4C / Acier, ainsi que les phénomènes de diffusion d'espèces.

* Projet NEEDS « MATABS » (CNRS, CEA, Framatome, EDF)

**Capacité calorifique : correspond à la quantité d'énergie à fournir pour élever la température du corps pur ou du composé d'un degré. Enthalpie de formation : quantité d'énergie absorbée ou dégagée lors de la réaction de formation d'un composé.

Olivier RAPAUD < IRCER
olivier.rapaud@unilim.fr
www.ircer.fr



RÉGION
**Nouvelle-
Aquitaine**



Journées BIOSENA

Réseau Régional de Recherche sur
la Biodiversité et les Services écosystémiques

GRATUIT
Sur réservation

2 et 3
Novembre
2020



TABLES RONDES - ATELIERS

Forum des Pertuis La Rochelle

Contact vittoria.milano@univ-lr.fr

biosena.univ-lr.fr/



Université
de Limoges



université
de BORDEAUX



INRAE

