

microSCOOP

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou Charente

n°89 - mars 2024

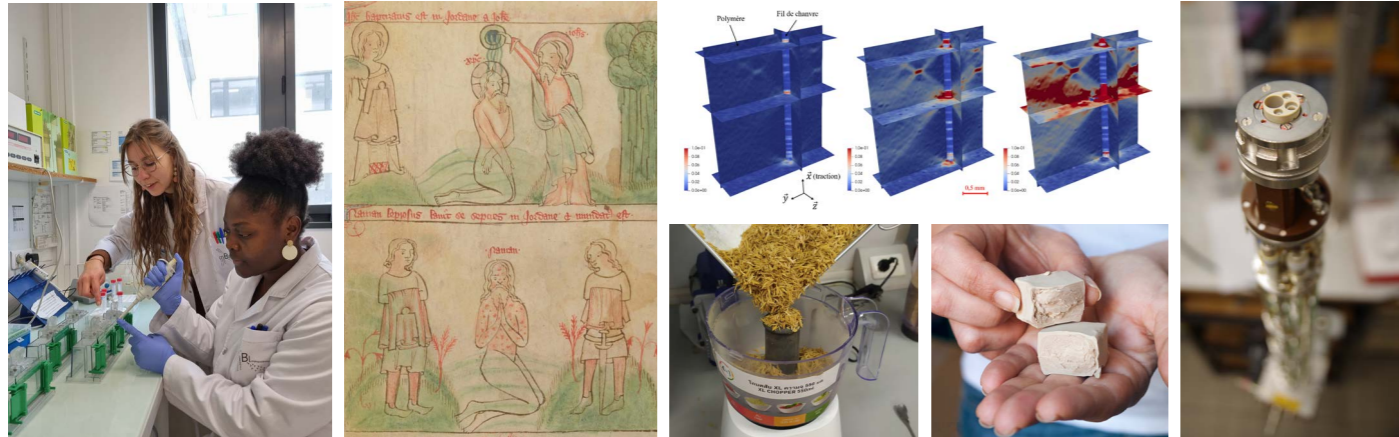
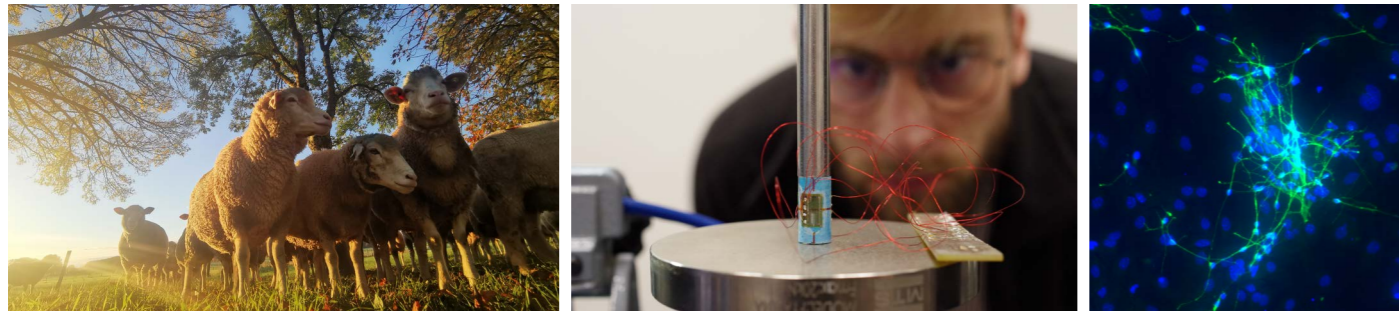
Le chanvre passé aux rayons X

Toxines environnementales
et neuropathologies

Matex, pour un très haut niveau
de diagnostic des matériaux sous contrainte

Les lépreux au Moyen Âge :
exclus ou élus ?





ISSN 1291-8083

Photo couverture : Chanvre
© Istock

4 Biologie

- Toxines environnementales et neuropathologies
- Pister l'origine de la leucémie lymphoïde chronique
- La kisspeptine, un peptide naturel au cœur du contrôle de la reproduction
- La levure de boulanger : un outil innovant pour la détection de micropolluants

12 Chimie

- La balle de riz : du déchet agro-industriel à la valorisation
- Le chanvre, passé aux rayons X

16 Matériaux

- Matex, pour un très haut niveau de diagnostic des matériaux sous contrainte

18 Histoire

- Les lépreux au Moyen Âge : exclus ou élus ?

20 Actualités

Éditorial

Un nouveau panel de thématiques scientifiques est proposé dans ce numéro 89 au fidèle lectorat de Microscoop. Sans dévoiler le contenu mais pour donner envie, les sujets de ce nouveau numéro sont à nouveau variés : de la chimie, de la physique, de la biologie et de l'histoire.

Il faut remercier le réseau des correspondants de communication des laboratoires pour la prospection qu'ils réalisent au jour le jour pour dénicher des articles qui serviront aux trois publications annuelles. C'est grâce à leur sagacité et à l'excellente connaissance qu'ils ont de leur laboratoire que ce magazine existe et perdure. L'ambition originale était d'améliorer la connaissance des laboratoires sur leurs recherches respectives et de faire savoir aux partenaires l'étendue des recherches qui y sont menées. Cette ambition est identique aujourd'hui, après plus de 20 ans d'existence.

Sans changer la ligne éditoriale, vous constaterez toutefois qu'elle évolue avec une nouvelle ambition, sur laquelle il convient d'insister : rendre les sciences et les laboratoires attractifs. La recherche continue d'attirer. Guidés par la curiosité ou par la volonté d'approfondir ses connaissances, nous avons envie de comprendre ou de voir. De même, le CNRS bénéficie toujours d'une très bonne réputation. Force est cependant de constater que des postes ne sont pas pourvus, les thésards se font plus rares dans certaines filières. Il est donc primordial de promouvoir l'excellence de la recherche, de mettre en avant celles et ceux qui la font et d'afficher la source de progrès et d'innovation que constitue la science.

Nombreux sont les collégiens et lycéens qui visitent les unités de recherche. Ils perçoivent très bien l'effort réalisé par les scientifiques pour rendre accessibles des concepts compliqués, parfois distants de leurs livres de classe. C'est peut-être ambitieux de vouloir leur donner si tôt le goût des sciences mais il devient un enjeu d'expliquer aux plus jeunes une démarche scientifique et de susciter des vocations. Je salue ici tous les scientifiques qui se mobilisent pour les recevoir en stage de découverte professionnelle, lors des concours C Génial ou des Visites insolites du CNRS et dans bien d'autres occasions encore.

Bonne lecture



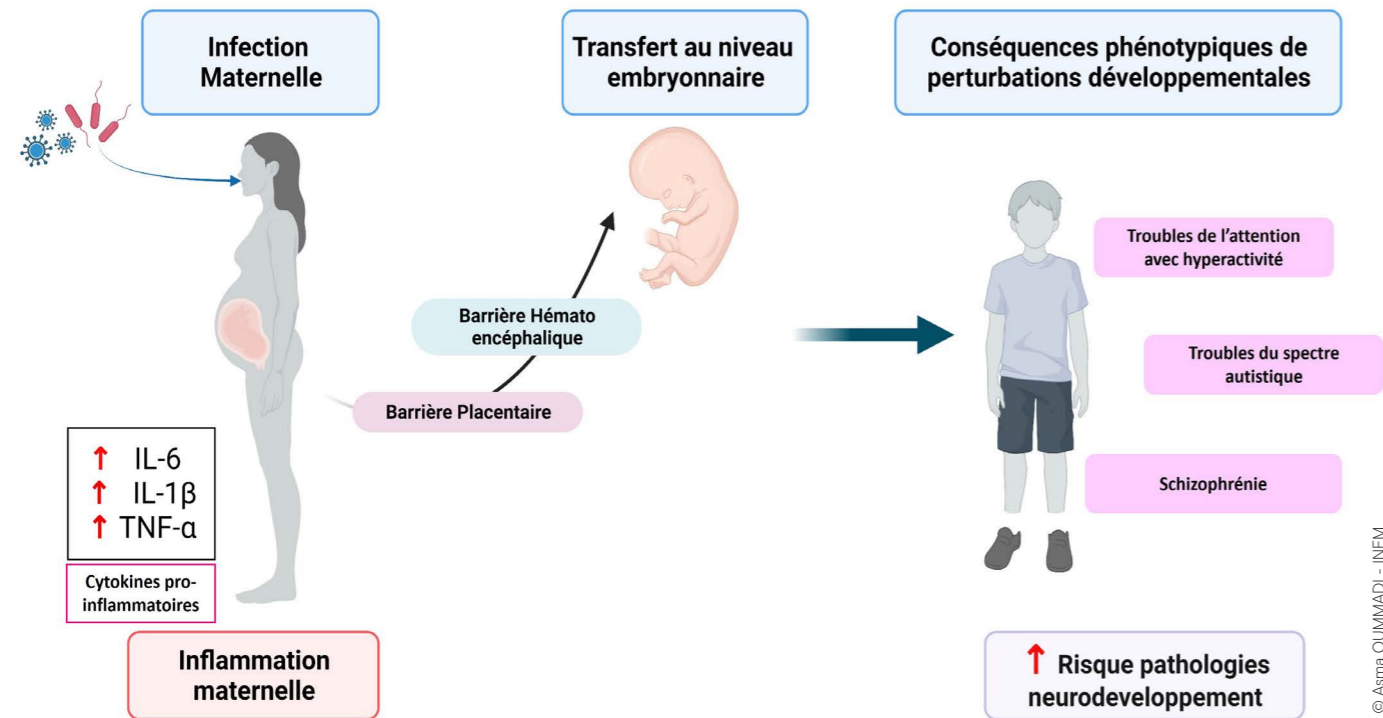
Ludovic Hamon
Délégué régional

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



Toxines environnementales et neuropathologies

De plus en plus de cas de neuropathologies comme la Sclérose latérale amyotrophique (SLA), la maladie de Parkinson ou les troubles du spectre autistique sont recensées sur les dernières décennies. Dans le même temps, l'industrialisation couplée au réchauffement climatique, expose de plus en plus la population à une multitude de toxiques tout au long de sa vie.



Le principe de sensibilisation inflammatoire maternelle. (Adapté de Woods RM et al, 2023).

QUAND CE N'EST PAS TOUJOURS (QUE) LA FAUTE DE LA GÉNÉTIQUE

Le réchauffement climatique comme l'utilisation de pesticides en agriculture conventionnelle favorisent l'apparition d'efflorescence de cyanobactéries et de micro-algues. Ces efflorescences conduisent à des interdictions de pêche et de baignade. En effet, ces micro-organismes produisent des toxines auxquelles les espèces animales, dont l'espèce humaine, sont alors exposées. L'une de ces toxines est la β -méthylamino-L-alanine (BMAA) classée neurotoxique, par l'ANSES en 2017.

Pour évaluer les conséquences d'une exposition environnementale, il faut considérer l'exposome, c'est-à-dire l'ensemble des facteurs de l'environnement auquel un individu est exposé tout au long de sa vie. De cette façon, on peut envisager la modélisation des interactions entre le génome (notre matériel génétique) et l'exposome.

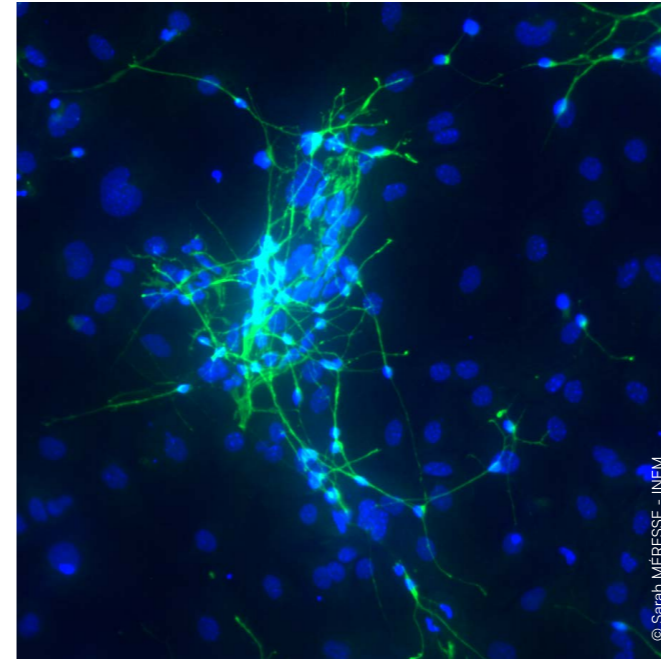
La modélisation de l'exposome peut se réaliser *in vitro* pour mieux comprendre les mécanismes moléculaires et cellulaires ainsi qu'*in vivo* pour étudier les conséquences sur les gènes d'une exposition. Situés à deux échelles différentes, les modèles *in vitro* et *in vivo* sont donc complémentaires et permettent d'apprécier les effets de substances exogènes ou extérieures de façon complète.

LA NEUROGÉNÈSE SECONDAIRE PERTURBÉE

Le laboratoire d'Immuno NEuro Modulation (INEM - UMR7355 CNRS - Université d'Orléans) a émis l'hypothèse que la cyanotoxine BMAA pourrait affecter la neurogénèse secondaire, c'est-à-dire qu'elle pourrait interférer avec la production de nouveaux neurones à l'âge adulte. Chez l'individu adulte, on distingue la neurogénèse secondaire issue de l'hippocampe et celle issue d'une autre zone du cerveau qu'on nomme la zone sous-ventriculaire (SVZ).

Pour répondre à cette interrogation, le laboratoire a mis en culture des cellules souches neurales de cerveaux murins issues de la SVZ. Il a traité les cellules souches avec la toxine BMAA à de faibles concentrations pour étudier l'impact de la toxine sur la différenciation cellulaire, ce mécanisme par lequel une cellule non spécialisée se spécialise en un des nombreux types cellulaires composant le corps.

Son système de culture permet la différenciation des cellules souches issues de la SVZ en neuroblastes (neurones immatures), astrocytes et précurseurs d'oligodendrocytes qui sont les cellules myélinisante¹ du système nerveux central (SNC). Il contient également les cellules microgliales qui sont les cellules immuno-compétentes du SNC. Les rôles des cellules microgliales sont multiples : elles modulent l'inflammation, participent à la phagocytose, c'est-à-dire à l'élimination des cellules mortes ou endommagées, créant ainsi un environnement propice à la



Marquage des neuroblastes (DCX) en vert et des noyaux cellulaires en bleu (DAPI). Observation de chaînes de neuroblastes permettant leur migration (barre d'échelle = 100 μ m)

neurogénèse. De plus, les cellules microgliales peuvent interagir directement avec les cellules souches neurales. Ainsi, l'étude des cellules immuno-compétentes du SNC est cruciale. Ces cellules comprennent les cellules microgliales et les astrocytes.

Au sein de la zone sous-ventriculaire du cerveau, les cellules souches neurales prolifèrent et produisent des neuroblastes. Ceux-ci vont migrer, en formant des chaînes, jusqu'aux bulbes olfactifs pour achever leur migration. Cette migration permet aux neuroblastes de se différencier en neurones matures capables d'intégrer le réseau neuronal préexistant. La migration des neuroblastes est ainsi une étape fondamentale dans la neurogénèse car elle assure la maturation fonctionnelle de nouveaux neurones et participent également à la plasticité cérébrale. Il ressort des expérimentations de l'INEM que la toxine BMAA, à faibles concentrations, perturbe la migration des neuroblastes, car elle modifie le nombre de cellules par chaîne. Ainsi *in vitro* la BMAA interfère avec les processus de neurogénèse secondaire issue de la SVZ.

" l'environnement maternel influence donc le fœtus "

Le laboratoire a également étudié les astrocytes et les cellules microgliales. Si la BMAA n'interfère pas avec la proportion de ces types cellulaires *in vitro*, elle induit une activation pro-inflammatoire *in vitro*. Cette activation pourrait avoir phénotypiquement des conséquences à long terme. Si les cellules immuno-compétentes sont activées par la BMAA, quelles seraient les conséquences d'une exposition pro-inflammatoire antérieure ?

L'IMPORTANCE CRUCIALE DES EFFETS CUMULATIFS

Tout au long de la vie, depuis la période embryonnaire jusqu'au vieillissement, un individu est exposé à une multitude d'agents environnementaux, par le biais de diverses sources telles les polluants ou les micro-organismes. Pendant les stades intra-utérins, l'environnement maternel influence donc le fœtus en croissance. Il a largement été documenté qu'une infection (virale

ou bactérienne) gestationnelle (on parle d'activation maternelle) induit une augmentation de cytokines pro inflammatoires qui peut conduire au développement de certaines pathologies du neuro-développement chez la descendance.

Le laboratoire s'est déjà intéressé à cette période critique du développement cérébral pour évaluer les effets d'une exposition à de faibles doses d'une cyanotoxine, la BMAA. Il a pu montrer qu'une exposition périnatale (maternelle ou post-natale), à de faibles doses à la cyanotoxine BMAA n'engendre pas de perturbations comportementales précoce ou tardive chez la descendance.

En accord avec la théorie de "l'atteinte multiple", les biologistes ont émis l'hypothèse qu'une infection bactérienne asymptomatique pendant la période de gestation (première atteinte) sensibiliserait une exposition postnatale à de faibles doses de BMAA (deuxième atteinte) conduisant à des perturbations comportementales chez la descendance. Pour mimer cette infection bactérienne, la sensibilisation inflammatoire maternelle (prénatale) a été faite grâce à une toxine bactérienne. Par la suite, la descendance (postnatale) a été exposée aussi à de faibles doses de BMAA. Une évaluation comportementale longitudinale a été réalisée chez la descendance pour évaluer les effets sur différents paramètres comportementaux à différentes périodes de la vie.

L'INEM a ainsi pu montrer qu'une infection bactérienne asymptomatique chez des femelles gestantes sensibilise une exposition ultérieure à de faibles doses de toxine. Ces deux atteintes successives agissent en synergie et sont nécessaires pour induire des perturbations de la coordination motrice, de l'apprentissage moteur ainsi que de la gestion émotionnelle chez la descendance.

Ces découvertes montrent qu'il est important de considérer les expositions multiples car des événements n'ayant pas ou peu d'impacts visibles peuvent, lorsqu'ils sont cumulés, agir en synergie et révéler un effet nocif chez les personnes plus tard au cours de la vie. La période d'exposition a également toute son importance et en particulier la période prénatale. En effet, une exposition pendant cette période critique du développement cérébral peut perturber la mise en place de différents processus induisant des changements irréversibles qui peuvent s'avérer critiques dans le développement d'un individu. Il est donc crucial de prendre en compte les effets cumulatifs et/ou synergiques de ces expositions sur la neurotoxicité développementale. Cela souligne la nécessité d'entreprendre des évaluations réglementaires complètes prenant en compte non seulement l'effet "cocktail" mais également l'historique d'un individu. Même si cet exposome est vaste et difficile à modéliser, il permet malgré tout de se rapprocher des conditions réelles d'exposition, d'identifier des périodes de vulnérabilité et de mieux comprendre l'ensemble des causes de certaines pathologies.

Asma OUMMADI - INEM
asma.oummadi@cnrs-orleans.fr

Sarah MÉRESSE - ART, INSERM
sarah.meresse@inserm.fr

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

¹ myélinisante : qui fabrique la myéline, une gaine autour des fibres nerveuses pendant le développement du système nerveux.

Pister l'origine de la leucémie lymphoïde chronique

Les lymphocytes B, soldats de notre système immunitaire, sont capables de produire des armes, les anticorps, et de les diriger spécifiquement contre leurs ennemis, les pathogènes. Mais qu'en est-il de ceux qui rendent les armes comme dans la leucémie lymphoïde chronique ? Le laboratoire Contrôle de la Réponse Immune B et des Lymphoproliférations apporte des éléments de réponse.

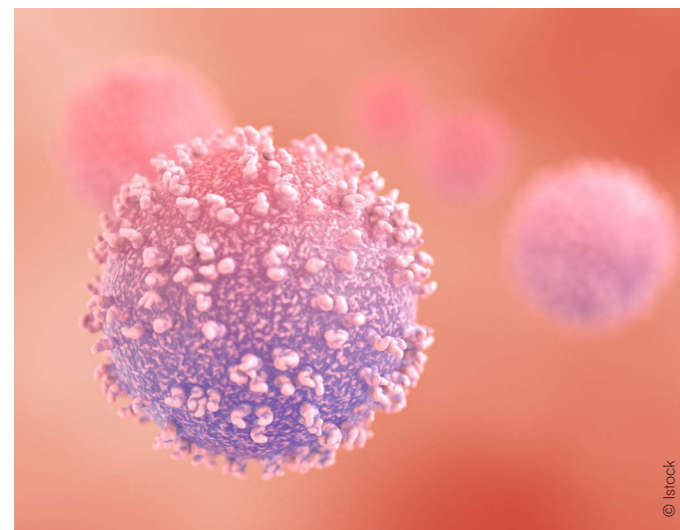
DES SOLDATS ET DES ARMES

Les lymphocytes B sont une sous population de globules blancs ayant pour but de défendre l'organisme contre les agents infectieux (bactéries, virus...). Ce sont des cellules du système immunitaire qui possèdent à leur surface un récepteur, le "BCR" (récepteur des cellules B). Ce dernier est constitué en partie d'une immunoglobuline capable de reconnaître un antigène étranger (molécule du non-soi). Après contact avec l'antigène, l'activation du lymphocyte B conduit à la formation d'un centre germinatif dans lequel le lymphocyte B mature et acquiert un récepteur "BCR" hautement spécifique de l'antigène. Cette maturation aboutit à la sécrétion dans le sang de l'immunoglobuline, appelée anticorps.

Comment le lymphocyte B acquiert-il une immunoglobuline hautement spécifique capable de lutter contre le pathogène donné ? Premièrement, dans le centre germinatif, grâce à l'enzyme AID¹ exprimée spécifiquement à ce stade, le lymphocyte B subit ce que l'on nomme l'"hyper-mutation somatique". C'est-à-dire que l'action de l'enzyme entraîne l'insertion de mutations dans les régions variables de l'immunoglobuline permettant de mieux reconnaître l'antigène. Deuxièmement, le lymphocyte B subit une "recombinaison de classe" permettant de générer, par recombinaison de l'ADN, une classe d'immunoglobuline adaptée à l'antigène. Il existe 5 classes d'immunoglobulines (Ig) différentes (IgM, IgD, IgG, IgA et IgE) qui ont des propriétés propres à chacune. Ces deux mécanismes d'hyper-mutation somatique et de recombinaison de classe sont la clé d'une réponse immunitaire efficace.

DES DÉCOUVERTES INATTENDUES

Poursuivant ses travaux sur les immunoglobulines, le laboratoire CRIBL (CNRS / Inserm / Université de Limoges) a mis en évidence en 2012 et pour la première fois, une seconde recombinaison.



Lymphocyte B, cellule du système immunitaire, circulant dans le sang.

raison génétique particulière s'opérant dans les lymphocytes B : *Sμ-3'RRrec* (renommée "SRrec" dans cet article). Cette dernière entraîne le retrait d'une zone dans l'ADN des immunoglobulines indispensable à leur production, et donc à la structuration du récepteur « BCR » et à son ancrage à la surface du lymphocyte B : il se retrouve alors désarmé. À l'heure actuelle, les biologistes ignorent le rôle physiologique de cette recombinaison.

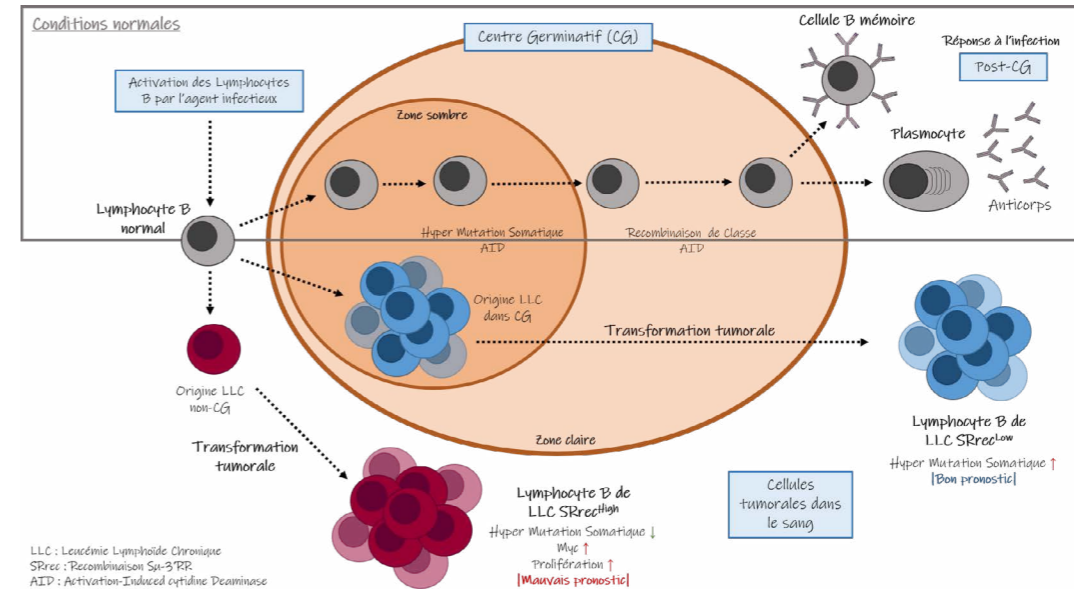
La leucémie lymphoïde chronique ou LLC est un lymphome, un cancer, dans lequel des lymphocytes B tumoraux envahissent le sang et les organes lymphoïdes secondaires (rate, ganglions lymphatiques) et mettent en péril les fonctions physiologiques de l'organisme. La LLC, aujourd'hui encore incurable, est très fréquente chez l'adulte dans les pays occidentaux avec une moyenne d'âge au diagnostic estimée à 70 ans. Les patients sont classés en fonction de paramètres cliniques et biologiques et en fonction de données de génétique. Ces classifications permettent d'orienter et d'améliorer la prise en charge des patients. Néanmoins, cette maladie reste très hétérogène dans son évolution.

Elle a une autre singularité : les lymphocytes B tumoraux expriment la seule classe d'IgM dans la quasi-totalité des cas alors qu'en temps normal, les 5 classes sont présentes dans le sang. Cette observation conduit à penser que le mécanisme de recombinaison de classe est "bloqué" dans les lymphocytes B tumoraux. Ainsi, étudier la recombinaison génétique SRrec (celle désarmant les lymphocytes B) dans les cellules de LLC a semblé



Analyse d'échantillons protéiques de patients atteints de Leucémie Lymphoïde Chronique (LLC) par western blot.

Leucémie Lymphoïde Chronique (LLC) : deux types distincts de lymphocytes B cancéreux.



intéressant pour évaluer l'efficacité des mécanismes normalement en jeu.

Le CRIBL s'est alors penché sur l'analyse générale du phénomène de recombinaison de classe et en particulier de la recombinaison qu'il a lui-même identifiée (la SRrec) dans l'ADN des lymphocytes B tumoraux. La SRrec a été observée anormalement augmentée chez certains patients. Ainsi, sur la base du comptage de cette recombinaison pour chaque échantillon biologique, le laboratoire a mis en évidence deux profils distincts de patients : le groupe "SRrec^{high}" présentant un nombre accru de la recombinaison génétique SRrec dans l'ADN des lymphocytes B et le groupe "SRrec^{low}" avec une détection plus faible de cette recombinaison. Ces deux groupes s'avèrent présenter des pronostics et des caractéristiques biologiques distincts.

" la grande hétérogénéité de l'évolution de la maladie "

Dans le cancer, la cellule d'origine est celle qui subit la transformation tumorale et qui entraîne la prolifération anormale de cellules résistantes à la mort cellulaire : les cellules cancéreuses. Toute cellule à l'origine d'un cancer correspond à une contrepartie cellulaire normale. La comparaison entre les cellules tumorales et leur contrepartie normale permet d'identifier les mécanismes altérés dans la tumeur. L'analyse de ces altérations permet de retracer l'histoire de la transformation tumorale, participe à une meilleure prise en charge des patients et à l'amélioration des traitements. Dans la LLC, plusieurs origines cellulaires ont déjà été proposées. Les résultats du CRIBL démontrent deux profils distincts de patients "SRrec^{high}" ou "SRrec^{low}". La question se pose maintenant des origines cellulaires communes ou différentes de ces deux groupes de LLC.

DEUX ORIGINES DIFFÉRENTES POUR UN MÊME CANCER

Le groupe "SRrec^{low}" rassemble des facteurs de meilleur pronostic : un délai relativement long entre le diagnostic et la mise en place du traitement, une classification de meilleur pronostic et une hyper-mutation somatique fonctionnelle (mécanisme indispensable d'une bonne réponse immunitaire). À contrario, le groupe "SRrec^{high}" présente des indicateurs de plus mauvais pronostic nécessitant la mise en place d'un traitement rapidement après le diagnostic et une absence d'hyper-mutation

somatique. Des analyses ADN ont montré que les cellules du groupe SRrec^{low} présentent des caractéristiques associées aux lymphocytes B ayant été activés dans le centre germinatif contrairement au groupe SRrec^{high}.

De plus, dans ce dernier groupe, les biologistes ont observé que la recombinaison SRrec est très diversifiée et associée à des marques de prolifération passée. Vraisemblablement, les lymphocytes B tumoraux sont continuellement activés, sans avoir subi les mécanismes associés au passage dans le centre germinatif. Cette hypothèse est renforcée par l'observation de la surexpression de l'oncogène Myc (gène favorisant la survenue d'un cancer) capable d'activer la prolifération cellulaire et d'amplifier les recombinaisons des immunoglobulines, en particulier SRrec la seconde recombinaison indépendamment de l'enzyme AID, comme le CRIBL l'a démontré *in vitro*.

Finalement, la LLC est un cancer dont l'une des particularités singulières est la grande hétérogénéité de l'évolution de la maladie, des lésions génétiques retrouvées chez les patients et des paramètres biologiques permettant leur classification pronostic. De ce constat avait émergé, il y a une vingtaine d'années, l'idée que la LLC peut émaner de deux cellules de stade de maturation différents. Le travail du CRIBL s'inscrit dans la continuité de cette réflexion en apportant une définition plus précise du stade et du statut d'activation de ces deux cellules B d'origine. Par ailleurs, les travaux de recherche en cours contribuent à améliorer la compréhension des mécanismes physiopathologiques mis en jeu dans la LLC et impliquent pour la première fois, la SRrec dans un cancer des lymphocytes B chez l'humain. Le CRIBL poursuit actuellement ses recherches pour comprendre la contribution de la SRrec dans la survenue de la LLC.

Kenza GUIYEDI - CRIBL
kenza.guiyedi@unilim.fr
Milène PARQUET - CRIBL
milene.parquet@unilim.fr
Sophie PERON - CRCN, INSERM - CRIBL
sophie.peron@unilim.fr
<https://www.unilim.fr/cribl/>

¹ Activation-Induced cytidine Deaminase

La kisspeptine, un peptide naturel au cœur du contrôle de la reproduction

Pour produire du lait et de la viande toute l'année et ainsi répondre à la demande des consommateurs, les éleveurs doivent mettre en place des conduites d'élevage spécifiques.

Sous nos latitudes, la reproduction des ovins est cyclique ce qui se traduit par des accouplements limités dans le temps, entre la fin de l'été et le début de l'hiver, et conduit donc à la naissance des agneaux cinq mois plus tard, au printemps, saison la plus favorable à leur développement et leur survie. Cette saisonnalité de la reproduction est dépendante de la durée d'exposition à la lumière du jour, appelée aussi photopériode.

DES STRATÉGIES CONTROVERSÉES

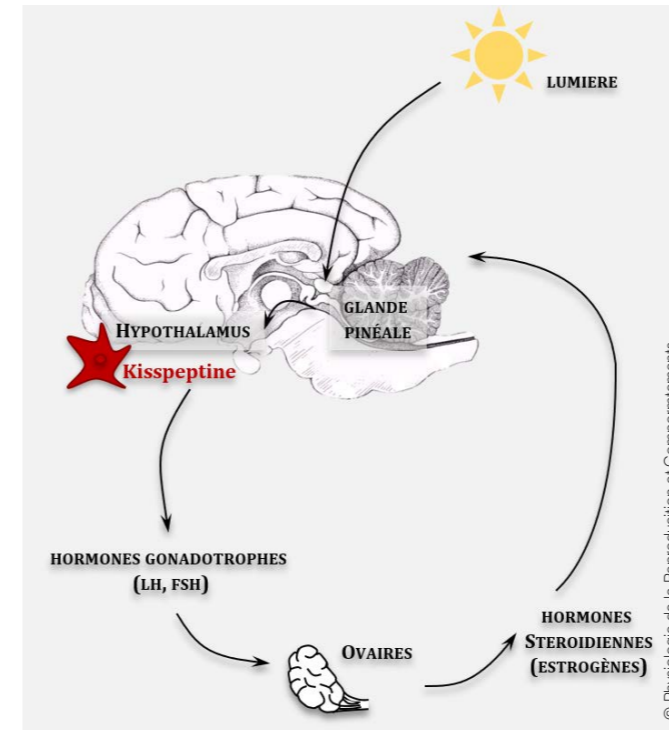
Pour que les ovins se reproduisent toute l'année, des méthodes dites "naturelles" peuvent être utilisées. Par exemple, au printemps, lorsque les animaux sont exposés à un rythme lumineux mimant l'exposition aux jours décroissants de l'automne (fin d'été — début d'hiver), les brebis rentrent en activité sexuelle à une période où elles sont naturellement en repos sexuel. Une stratégie alternative consiste à introduire un mâle sexuellement actif dans un troupeau de femelles en repos sexuel. Les odeurs dégagées par le mâle et sa présence induisent l'activation du système reproducteur des femelles. Cependant, ces méthodes

sont souvent difficiles à mettre en œuvre, contraignantes pour les éleveurs et coûteuses.

Dans la plupart des cas, ceux-ci font donc le choix d'utiliser des traitements hormonaux combinant l'utilisation d'un analogue de la progestérone et de l'hormone gonadotrope chorionique équine (eCG). Cette stratégie présente les avantages d'être simple à mettre en place, efficace et peu coûteuse. Cependant, l'eCG présente des risques sanitaires importants et son utilisation régulière conduit à une diminution de son efficacité sur le long terme due aux réactions immunitaires qu'elle peut induire. Elle pose aussi des questions éthiques puisque l'eCG est collectée sur des juments gestantes.

UNE ALTERNATIVE NATURELLE ?

Dans les années 2000, un peptide¹ nommé kisspeptine a été identifié dans la circulation sanguine comme un puissant régulateur de la fonction de reproduction chez la femelle. De nombreuses recherches ont permis de montrer que la kisspeptine, produite



Trajet de l'information lumineuse qui est traduite en message hormonal par la glande pinéale. Ce message est ensuite transmis aux neurones à kisspeptine localisés dans une région du cerveau appelée hypothalamus pour l'activation de la reproduction qui passe par la libération des hormones gonadotropes (LH et FSH) qui à leur tour vont induire l'ovulation chez les femelles.

par certains neurones du cerveau, stimule l'ovulation et l'expression du comportement sexuel, ce qui en fait un candidat idéal et naturel du contrôle de la reproduction. Chez de nombreuses espèces, incluant l'Homme, son injection permet de stimuler la fonction de reproduction. Cependant, l'effet de ce peptide est de très courte durée (de l'ordre de quelques secondes) du fait de sa dégradation rapide par l'organisme (demi-vie courte), ce qui limite voire rend impossible son utilisation en élevage.

" induire des ovulations
chez les femelles en saison
de repos sexuel "

LE DÉVELOPPEMENT D'UN ANALOGUE DE LA KISSPEPTINE

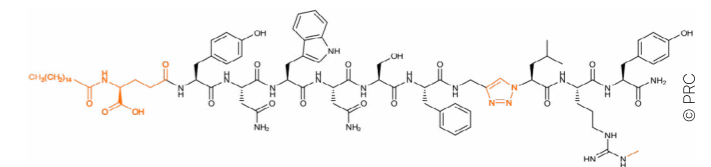
Une collaboration entre des scientifiques de l'INRAE et du CNRS (Physiologie de la Reproduction et Comportements, UMR 7247 - CNRS/Université de Tours/INRAE) a permis de modifier chimiquement la kisspeptine afin de lui conférer une plus longue demi-vie dans l'organisme, aboutissant à la création du C6, un peptide de synthèse, analogue de la kisspeptine. Des études *in vitro* et *in vivo* sur la souris, ont montré la capacité du C6 à augmenter, dans cette espèce, la sécrétion des hormones gonadotropes impliquées dans l'activation de la fonction de reproduction : les hormones lutéinisante (LH) et folliculo-stimulante (FSH). Ainsi, l'administration du C6 est capable d'induire des ovulations chez les femelles en saison de repos sexuel. Du fait de sa composition chimique basée sur celle de la kisspeptine, un peptide naturellement produit par l'organisme, le C6 provoque



Effet mâle chez les caprins : l'introduction d'un mâle sexuellement actif dans un troupeau de femelles en période de repos sexuel est capable d'induire l'activation du système reproducteur de certaines femelles (UEPAO, INRAE, Nouzilly).

moins de réponses immunitaires, ce qui permet son utilisation récurrente chez un même animal. Des recherches menées sur d'autres espèces montrent que l'utilisation du C6 pourrait être étendue aux espèces ovine, caprine, porcine et ainsi permettre son utilisation en élevage à des fins de reproduction en contre saison.

Le développement du C6 permet d'envisager une alternative à l'utilisation de plus en plus controversée de l'eCG. Du fait de son effet chez de nombreuses espèces, le C6 pourrait également constituer un traitement pertinent d'activation de la reproduction chez les animaux d'élevage ainsi que chez d'autres espèces à reproduction complexe et/ou en voie d'extinction.



Structure chimique du C6. En noir, la structure de base de la kisspeptine, en orange, les modifications chimiques faites pour aboutir au C6, résistant à la dégradation enzymatique.

Vincent HELLIER - PRC

vincent.hellier@inrae.fr

<https://physiologie-reproduction-comportements.val-de-loire.hub.inrae.fr/>

¹ peptide : petite protéine composée de 10 à 12 acides aminés.



Brebis de l'unité expérimentale de l'orfrasière (UEPAO, INRAE, Nouzilly)

La levure de boulanger : un outil innovant pour la détection de micropolluants

Les problématiques environnementales sont au cœur des préoccupations de chaque citoyen, politique, chercheur. Développer de nouvelles techniques de détection de polluants simples à mettre en œuvre, précises et sensibles représente un enjeu majeur. Et pourquoi pas un bio-capteur à base de levure ?



La levure de boulanger, *Saccharomyces cerevisiae*, un outil technologique ?

La levure de boulanger, *Saccharomyces cerevisiae*, nous est familière dans notre vie quotidienne. On la retrouve naturellement dans le pain, la bière, le vin. Dans l'Antiquité, les égyptiens l'utilisaient déjà de façon empirique pour leurs besoins alimentaires. Louis Pasteur a révélé son existence en 1857. La levure *Saccharomyces cerevisiae* trouve aussi toute sa place dans les laboratoires de recherche. D'ailleurs, plusieurs lauréats de prix Nobel sont des "levuristes" !

Cet organisme est un être unicellulaire eucaryote : une seule cellule qui a de nombreuses similitudes avec les cellules humaines (un noyau, des chromosomes, des voies de signalisation cellulaire très semblables à celles des cellules humaines). C'est le premier organisme dont le génome a été entièrement séquencé en 1996 grâce à un consortium international : 16 chromosomes pour environ 6000 gènes¹, dont un tiers est conservé entre la levure et l'homme et interchangeable. Il est facile de cultiver la levure, à moindre frais, avec des rendements de production élevés. Par ailleurs, il est aisé aux biologistes de manipuler son patrimoine génétique : pas besoin d'outil génétique sophistiqué. Elle possède son propre système de recombinaison homologue, c'est-à-dire de modification de son ADN. Aussi, de nombreuses découvertes fondamentales ont été réalisées grâce à la levure : les bases moléculaires de la transcription, la mise en évidence des protéines régulant le cycle cellulaire, le trafic vésiculaire ou encore l'autophagie.

Et puis, c'est un outil biotechnologique précieux. Elle permet la production à faible coût et en grande quantité de protéines

humaines recombinantes comme par exemple le collagène, l'hormone de croissance, l'hydrocortisone ou l'insuline.

" La détection, de ces micropolluants, un défi sociétal fort "

QUE SONT LES MICROPOLLUANTS ?

Les micropolluants ont envahi notre vie et on les retrouve partout dans notre environnement. Ils constituent une source de pollution préoccupante. "Micro", ils passent inaperçus, mais ce sont de véritables fléaux pour l'environnement, la faune, la flore et la santé humaine. Selon la définition du Plan Micropolluants (2016-2021) : "un micropolluant est une substance indésirable détectable dans l'environnement à très faible concentration (μg voire ng/L). Sa présence est, au moins en partie, due à l'activité humaine et peut à ces très faibles concentrations engendrer des effets négatifs sur les organismes vivants en raison de sa toxicité, de sa persistance et de sa bioaccumulation. De nombreuses molécules présentant des propriétés chimiques différentes sont concernées (plus de 110 000 molécules sont recensées par la réglementation européenne), qu'elles soient organiques ou minérales, biodégradables ou non tels les plastifiants, détergents, métaux, hydrocarbures, pesticides, cosmétiques ou encore les médicaments".

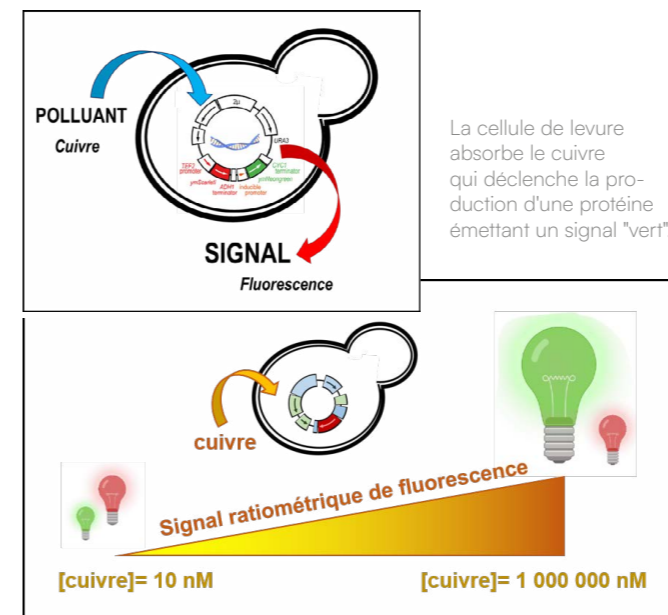
La détection et l'élimination de ces micropolluants représentent un défi sociétal fort. Actuellement, leur détection repose sur des techniques analytiques pointues qui nécessitent des appareils

onéreux et des expertises dédiées. En outre, ces analyses peuvent être longues et coûteuses. De plus, ces analyses ne quantifient pas les micropolluants assimilables par les organismes vivants, c'est-à-dire la fraction biodisponible des micropolluants.

LE CUIVRE, ESSENTIEL ET TOXIQUE

Des chercheurs du Centre de Biophysique Moléculaire (CBM, UPR344 CNRS) ont choisi la levure *Saccharomyces cerevisiae* pour relever un nouveau défi : la transformer et l'optimiser pour détecter des micropolluants. Le concept : un micropolluant entre dans la cellule de levure, induit une réponse biologique qui va provoquer l'émission d'un signal qui sera mesuré et mettra en évidence la présence de ce micropolluant mais qui permettra aussi de déterminer sa quantité biodisponible (ingérée par la levure). Les chercheurs du CBM ont choisi la fluorescence pour le signal émis : sensible, facile à détecter et à mettre en œuvre, et le cuivre pour le micropolluant. Le cuivre est utilisé dans de nombreux domaines industriels : la construction (plomberie), le secteur de l'énergie (notamment dans la production de batteries pour les voitures électriques), des biens de consommation. C'est aussi un engrais, un fongicide ou encore un insecticide. Micronutriment essentiel à la vie, le cuivre est toxique à dose plus élevée. Il induit des troubles gastriques, hépatiques, ou neurologiques. Son suivi dans l'eau potable est une réelle problématique environnementale et sociétale.

De nombreux travaux sur la levure ont démontré la capacité du cuivre à induire l'expression de gènes grâce à la caractérisation fine d'un promoteur² sensible au cuivre. Les biologistes du CBM ont détourné ce système pour évaluer la quantité de cuivre biodisponible. Ils ont modifié génétiquement la levure *Saccharomyces cerevisiae* en lui ajoutant un chromosome synthétique qu'on nomme plasmide³. Sur ce plasmide, ils ont inséré un gène permettant l'expression d'une protéine qui va émettre de la fluorescence "verte" (NeonGreen). Cette expression est sous le contrôle d'un promoteur sensible à la présence du cuivre (en qualité et quantité). Sur ce même plasmide, les biologistes ont aussi inséré un gène permettant l'expression d'une autre protéine qui va émettre de la fluorescence "rouge" (Scarletl).



Principe du biocapteur levure permettant de quantifier le cuivre biodisponible. Plus il y a de cuivre, plus le signal vert sera intense.

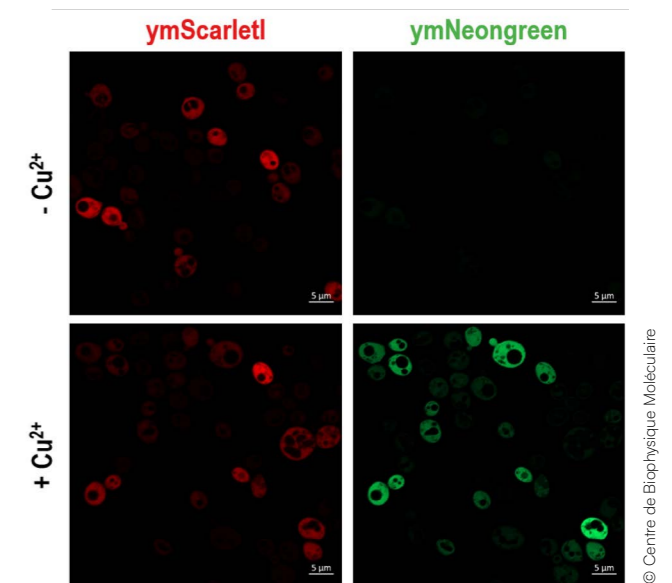
Cette expression est constitutive, c'est-à-dire qu'elle est toujours présente à partir du moment où la levure est vivante. Pourquoi une fluorescence verte et une fluorescence rouge ? Pour s'affranchir du nombre de levures présentes dans l'échantillon à analyser, c'est un système ratiométrique : la mesure du rapport vert/rouge reflète directement le rapport quantité de levures détectant du cuivre/quantité totale de levures et donc la concentration réelle de cuivre présent dans l'ensemble des levures quel que soit leur nombre.

Les scientifiques du CBM ont construit, testé et optimisé plusieurs plasmides. Ils peuvent ainsi détecter le cuivre biodisponible à une concentration inférieure limite de 10 nM surpassant ainsi tous les biocapteurs actuellement connus. Ce biocapteur a aussi été validé sur des échantillons "réels" (engrais, compléments alimentaires) pour lesquels les concentrations détectées sont tout à fait en accord avec celles annoncées par les fabricants.

Simple, robuste et facile à mettre en œuvre, ce biocapteur pourrait bien devenir un nouvel outil précieux pour évaluer la concentration de cuivre présent dans nos rivières. D'ailleurs, en collaboration, les chercheurs du CBM ont mis au point un système de polymère permettant de confiner et immobiliser les levures en préservant leurs propriétés pour éviter leur relargage dans la nature afin de pouvoir développer *in fine* un kit de détection. Ce biocapteur pourrait même être adapté à la détection d'autres micropolluants : métaux lourds, perturbateurs endocriniens, médicaments...

Béatrice VALLÉE - CBM
beatrice.vallee@cns.fr
<http://cbm.cnrs-orleans.fr/>

- 1 Gène : séquence d'ADN qui va permettre la production d'une protéine, les protéines sont les acteurs clés du fonctionnement de la cellule
- 2 Promoteur : séquence d'ADN en amont d'un gène qui va moduler son expression
- 3 Plasmide : molécule circulaire d'ADN double brin



Microscopie à fluorescence de levures portant le plasmide développé dans cette étude (d'après Zunar et al. 2022) - Colonne de gauche: Emission dans le rouge, Colonne de droite: Emission dans le vert. Cadrans supérieur: en l'absence de cuivre Cadrans inférieur: en présence de cuivre

La balle de riz : du déchet agro-industriel à la valorisation

En Thaïlande comme dans tous les pays asiatiques, le riz est l'aliment de base. Sa production génère cependant un grand volume de déchets organiques prêts à être valorisés. Une recherche franco-thaïlandaise impliquant l'Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers met en évidence une solution écologique et économique pour le pays.

Le riz "paddy" est un grain non décortiqué ayant conservé son enveloppe, la balle. C'est un riz à l'état brut. Il est produit dans les régions de climat tropical, les majeurs producteurs étant la Chine, l'Inde, le Bangladesh, l'Indonésie, le Vietnam et la Thaïlande.

Le riz paddy est très utilisé par les aquariophiles pour ensemercer un aquarium car lorsqu'il germe en milieu aqueux, il libère des bactéries et protozoaires aquatiques en grande quantité. Il est ainsi le premier maillon de la chaîne alimentaire aquatique et permet l'alimentation des plus petits alevins. Ces graines simples, sans additif, sont aussi très riches et indispensables en complément alimentaire pour les oiseaux exotiques à bec fort tels que le paddy de Java, les perruches et les perroquets. Ils y trouvent toute l'énergie dont ils ont besoin pour se maintenir en forme.

Si l'on débarrasse le riz paddy de sa balle de riz et de ses enveloppes extérieures ou glumelles adhérentes non comestibles,



Riz paddy.

on obtient le riz complet, appelé aussi riz brun ou riz cargo. Il ne reste à ce riz que son enveloppe de son et son germe. Il est de couleur beige, rouge ou noire. Pour rendre ce dernier plus digeste, il est souvent blanchi pour obtenir du riz blanc ou riz blanchi, auquel on a retiré l'enveloppe de son et le germe. Il ne reste donc du grain de riz que l'albumen, composé essentiellement d'amidon. Il a ainsi perdu une grande partie de ses qualités nutritionnelles. Puis, ce riz est poli pour lui donner une apparence blanche et brillante.

L'UN DES PLUS GROS DÉCHETS AGRO-INDUSTRIELS AU MONDE

La balle de riz est d'une couleur brun-beige, de consistance dure, beaucoup plus résistante que celle du blé. Ce produit, léger et volumineux, dont la densité oscille entre 132 et 140 kg/m³, est pratiquement imputrescible et inattaquable par les insectes. Chaque année, 800 millions de tonnes de riz sont produites. La balle de riz étant indigeste, d'énormes quantités de ce qui est l'un des plus grands produits agricoles au monde, sont gaspillées (environ 160 millions de tonnes).

D'un point de vue écologique, il apparaît donc essentiel de multiplier les actions pour valoriser ce déchet. La balle de riz est utilisée comme paillis pour le jardinage et comme fond de litière dans les étables ou les écuries. Elle est également employée comme combustible dans l'industrie des séchoirs à riz ou dans les centrales thermoélectriques pour produire chaleur ou électricité. Les cendres liées à la combustion sont, elles, utilisées dans la production de ciment ou la fabrication des matériaux réfractaires pour l'industrie sidérurgique. Elle peut aussi être utilisée comme matière première pour la production de furfural, solvant très utilisé dans la production du caoutchouc, du nylon et des résines. Son pouvoir isolant fait de ce produit un matériau d'isolation intéressant à employer dans la construction. On a d'ailleurs découvert que les temples datant du V^e siècle après J.C. du site de Batujava en Indonésie ont été construits à base de briques de balle de riz.

UN PRODUIT D'INTÉRÊT POUR LES CHIMISTES ?

La chimie verte (ou chimie écologique) est aujourd'hui un domaine de recherche en pleine expansion, principalement motivé par le désir de générer des produits par des moyens durables. Le développement de matériaux biosourcés (issus de la matière organique renouvelable), qui est l'un des douze principes de la chimie verte, constitue un axe majeur. Dans ce contexte, la conversion des déchets en matériaux à valeur ajoutée, tels que les catalyseurs et les adsorbants, est l'un des principaux objectifs de la chimie verte.

Des recherches récentes menées en collaboration entre l'Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers (IC2MP, UMR7285 CNRS/Université de Poitiers) et l'équipe ChemEng de la King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB) visaient à développer de nouveaux matériaux poreux à valeur ajoutée avec une mésoporosité variable et issus à 100 % de



La balle de riz a été transformée en poudre par broyage après lavage à l'eau puis séchage une nuit en étuve. Le broyat obtenu est ensuite soumis à prétraitement à base d'eau acidifiée (H₂SO₄) puis à base d'eau et d'éthanol.

ressources renouvelables. Ces matériaux poreux sont composés de lignine et de biosilice extraites de la balle de riz. Tous les végétaux sont faits de lignine et de cellulose. La balle de riz est très riche de ces composants lignocellulosiques (environ 80 %, dont 15 à 20 % de lignine). Les cendres résultant de la combustion de la balle de riz sont riches à 97 % de silice amorphe. Jusqu'à présent, cette biosilice suscitait très peu d'intérêt commercial.

La lignine est un nom générique regroupant des macromolécules aux structures très diverses. En chimie, on définit la lignine comme un polymère amorphe constitué de différentes unités de base appelées monolignols. Dans les plantes, les fractions des divers monolignols varient considérablement, rendant chaque lignine unique.

" de nouveaux adsorbants et catalyseurs 100 % biodérivés et renouvelables "

UNE COLLABORATION INTERNATIONALE FRUCTUEUSE

Différents protocoles d'extraction de la lignine à partir de la balle de riz sont bien établis. Les liaisons entre les monolignols (liaisons éther) peuvent être clivées (catalysées par exemple par des bases ou des acides), ce qui permet d'obtenir des fragments de lignine plus petits. Ces derniers se sont avérés présenter des propriétés d'auto-assemblage permettant de produire des suspensions colloïdales stables dans l'eau.

Le processus d'extraction de la silice et de la lignine issus de la balle de riz a été optimisé avec l'équipe thaïlandaise dans



Le poudre obtenue après traitements est filtrée. Le contenu du filtre - le "gâteau" - va permettre d'extraire la biosilice. La fiole contient la lignine à recueillir après séparation.

son laboratoire. En faisant varier le pourcentage d'apport en soude, les scientifiques influent sur la quantité de lignine extraite. En effet, la soude, qui est la base la plus fréquemment employée pour le traitement des produits ligno-cellulosiques augmente la capacité d'absorption en eau, provoque le gonflement des fibres celluloses et augmente ainsi la surface spécifique par hausse du volume du solide. Cela améliore l'accessibilité des réactifs. Ainsi, le rendement d'extraction croît avec la concentration en soude jusqu'à un optimum.

Les nouveaux matériaux développés dans le cadre de cette recherche collaborative franco-thaïlandaise ont permis de concevoir de nouveaux adsorbants et catalyseurs 100 % biodérivés et renouvelables, d'une grande importance industrielle tant en Europe qu'en Thaïlande. Ces matériaux ont aussi été testés en adsorption pour l'élimination des polluants des eaux usées.

Sophie MORISSET - IC2MP
sophie.morisset@univ-poitiers.fr

Alexander SACHSE - IC2MP
alexander.sachse@univ-poitiers.fr

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

Le chanvre passé aux rayons X

Afin de faire face aux bouleversements liés au dérèglement climatique, des chercheurs développent des matériaux composites à fibres naturelles, plus respectueux de l'environnement. Pour améliorer la durée de vie de ces matériaux, ils utilisent diverses techniques visant à analyser leur comportement mécanique.

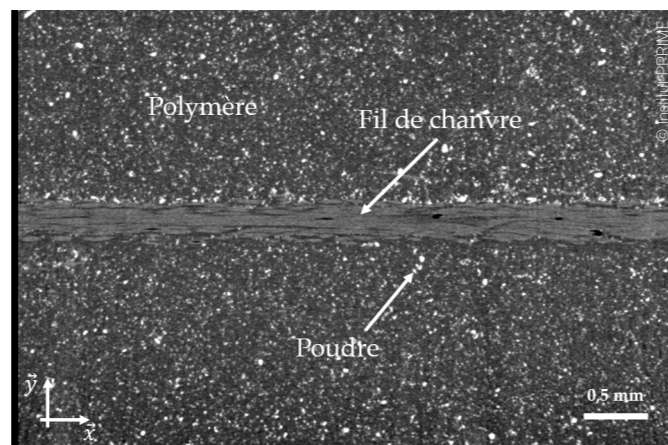


Le chanvre

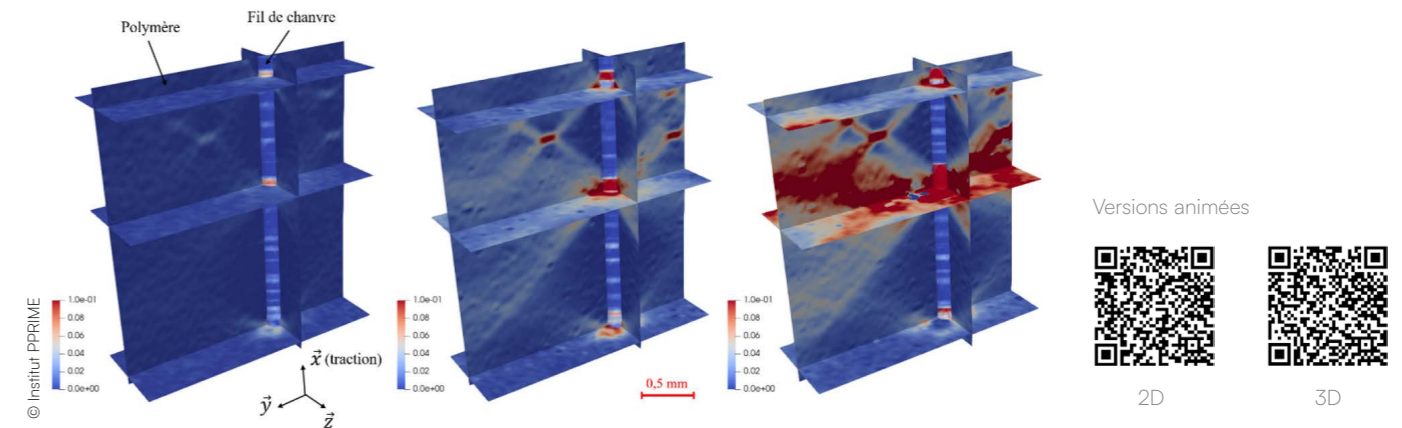
Cannabis sativa... c'est le nom latin de la plante à partir de laquelle sont fabriqués les matériaux composites étudiés à l'Institut Pprime (UPR 3346, CNRS/ISAE-ENSMA/Université de Poitiers) depuis maintenant plus de 15 ans. Un matériau composite est constitué de renforts, sous la forme de fibres ou de fils, et d'un liant, appelé matrice. Actuellement, les composites les plus utilisés sont à base de fibres de verre, que ce soit dans les domaines du transport, de l'énergie ou des loisirs par exemple. Cependant, ces composites sont difficilement recyclables en fin de vie et la fabrication des fibres de verre est très énergivore. L'utilisation de fibres de chanvre constitue donc une alternative très intéressante. En effet, la culture du chanvre ne nécessite que très peu d'eau et quasiment aucun intrant chimique. Les fibres de chanvre sont moins coûteuses que les fibres de verre, issues d'une ressource renouvelable et recyclables. Aujourd'hui, la recherche scientifique sur les matériaux composites à renfort végétal et à matrice polymère occupe une place de plus en plus importante et s'intéresse tout particulièrement à l'étude de l'interface fil/matrice. Cette dernière est plus complexe à caractériser et nécessite le développement de protocoles et de techniques de mesures spécifiques. Pour comprendre les mécanismes d'endommagement et de déformation qui ont lieu à l'interface fil/matrice dans ce type de matériau, des chercheurs de l'Institut Pprime viennent de développer une méthode innovante de caractérisation de cette interface.

L'INTERFACE FIL/MATRICE DANS LES BIOCOMPOSITES

Bien que les composites à renfort végétal soient de plus en plus présents dans notre quotidien, l'interface reste une des principales problématiques du fait d'un manque de compatibilité entre la fibre végétale et la matrice polymère. L'interface, considérée elle-même comme une phase du composite au même titre que le renfort et la matrice, peut être définie comme étant la frontière



Radiographie d'un fil de chanvre noyé dans une matrice polymère chargée de microparticules (poudre).



Evolution des déformations longitudinales dans les 3 plans

entre les fibres et le polymère, possédant ses propres propriétés mécaniques et assurant le maintien des fibres dans la matrice polymère ainsi que le transfert des charges lors d'une sollicitation mécanique. Pour pouvoir mesurer les déformations au cœur du matériau, une éprouvette contenant un unique fil de chanvre noyé dans une matrice polymère préalablement chargée de microparticules d'alumine a été fabriquée à l'Institut Pprime.

" La résolution des images obtenues est de 0,003 mm par voxel "

Cette éprouvette a été sollicitée en traction plusieurs fois, en atteignant des niveaux de déformation de plus en plus élevés. Des images numériques ont été réalisées pour chaque niveau de déformation par microtomographie aux rayons X (technique basée sur le même principe que l'imagerie médicale par radiographie à rayons X). La résolution des images obtenues avec le microtomographe de l'Institut Pprime est de 0,003 mm par voxel (pixel en trois dimensions). Une acquisition complète dure environ 4 heures et permet d'avoir une représentation volumique de l'échantillon étudié. L'accès à la déformation du matériau à chaque instant se fait par comparaison des différentes radiographies. La méthode utilisée s'appelle la corrélation d'images numériques et est basée sur le suivi des microparticules au sein de l'éprouvette. Lorsque ce suivi est effectué dans les trois directions de l'espace, on parle alors de corrélation volumique numérique (Digital Volume Correlation, ou DVC).

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE DU CHANVRE

Un outil de segmentation par Intelligence Artificielle a ensuite été utilisé pour pouvoir visualiser en trois dimensions l'évolution des endommagements créés par la sollicitation mécanique au sein du matériau. Cet outil, qui combine des algorithmes d'apprentissage automatique (Deep Learning), d'analyse de données et de visualisations, sert à numériser séparément chaque constituant de l'éprouvette étudiée. Dans le cas étudié par l'Institut Pprime, cet outil a permis de distinguer les voxels correspondant au fil de chanvre, au polymère et aux endommagements, pour chaque niveau de déformation. Les opérations de segmentation des images ont été réalisées à l'aide du supercalculateur du Mésocentre de Calcul SPIN. En effet, une forte puissance de calcul est nécessaire car chaque volume reconstitué contient

178 millions de voxels. Les images qui en résultent sont très précises et rendent possible la visualisation du développement des endommagements au sein de l'éprouvette à chaque instant.

LE MYSTÈRE DES DÉFORMATIONS VOLUMIQUES RÉVÉLÉ

Les corrélations volumiques numériques ont ensuite été réalisées sur les machines de calculs de l'Institut Pprime avec un code libre de droit (AL-DVC). À chaque observation tomographique, un calcul de corrélation d'images numériques 3D a permis la détermination et la visualisation en trois dimensions des déformations à l'interface fil/matrice ainsi que dans l'ensemble du volume étudié.

Finalement, cette analyse a conduit à identifier le scénario d'endommagement et les mécanismes de déformation au sein de ce type d'éprouvette. Il est apparu que les ruptures de fil jouent le rôle de concentrateurs de déformation, donnant lieu à des redistributions des déformations orientées suivant des lignes à $\pm 45^\circ$, et que la première rupture du fil génère une fissure matricielle qui sera responsable de la rupture finale de l'éprouvette. Ces nouvelles données, obtenues de manière expérimentale, amènent à mieux comprendre les mécanismes mis en jeu à l'interface fil/matrice dans un composite à renfort naturel. Elles pourront à l'avenir être intégrées dans des modèles numériques afin d'obtenir une simulation plus réaliste de l'interface fil/matrice et ainsi de mieux prédire la durée de vie de ces biocomposites.

Quentin DROUHET - INSTITUT PPRIME
quentin.drouhet@ensma.fr

Fabienne TOUCHARD - INSTITUT PPRIME
fabienne.touchard@ensma.fr

Laurence CHOCINSKI - INSTITUT PPRIME
laurence.chocinski@ensma.fr

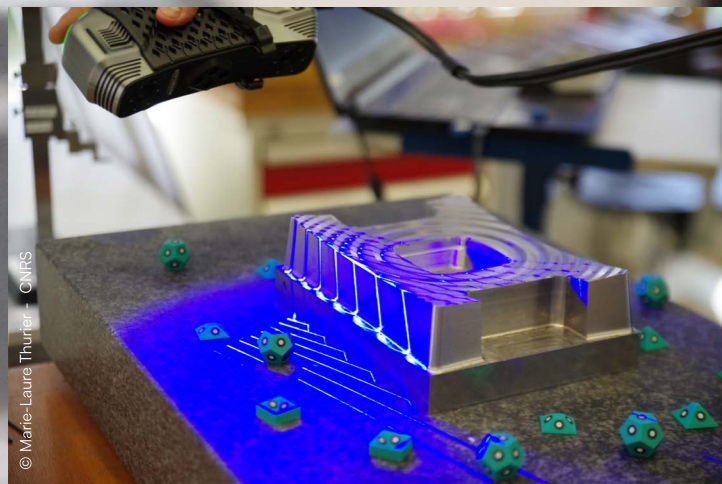
David MELLIER - INSTITUT PPRIME
david.mellier@ensma.fr

<https://pprime.fr/>

MATEX, pour un très haut niveau de diagnostic des matériaux sous contrainte

Les multimatériaux résultent de l'association de différents matériaux. Cette définition très synthétique ne suffit pas à en expliquer toutes les particularités. Intelligents, ils peuvent répondre à plusieurs sollicitations ou évoluer selon l'environnement. Ils permettent d'étendre les gammes d'utilisation habituelles et donc d'atteindre des conditions extrêmes de pression, de température, d'irradiation, de confinement ou encore d'exposition aux milieux réactifs gazeux ou liquides parfois hautement corrosifs ou oxydants voire plasmas. Ces environnements chimiques et physiques exceptionnels sont parfois atteints lors de l'élaboration des multimatériaux eux-mêmes. L'étude de ces comportements est une étape majeure pour améliorer leurs développements futurs dans de nombreux secteurs d'application.

MATEX, projet collaboratif rapprochant la recherche, l'industrie et l'enseignement, impulse une dynamique autour de ces multimatériaux en conditions extrêmes. Il finance des travaux de recherche dans des laboratoires en Centre-Val de Loire, regroupe des partenaires académiques et des industriels à l'échelle régionale, nationale et internationale. Il réunit aussi deux spécificités : la structuration d'un parc instrumental régional unique adapté aux besoins des industriels et de la communauté scientifique ainsi que le développement d'une filière de formation spécifique professionnelle et académique, du lycée à l'université jusqu'à l'entreprise pour l'évolution des métiers.



Démonstration d'utilisation du scanner Tridim portable au laboratoire LaMé situé au CEROC.

UN COLLECTIF DE :

7
LABORATOIRES DE RECHERCHE

5
PARTENAIRES INDUSTRIELS

145
INSTRUMENTS DE POINTE

4 THÉMATIQUES SCIENTIFIQUES :

Multimatériaux à base de polymères et de carbone

Revêtements multicomposants de métaux et/ou céramiques et tenue en conditions extrêmes

Matériaux sous sollicitations en conditions extrêmes

Développement d'instrumentations spécifiques

1 CLUB DES INDUSTRIELS POUR

Favoriser le réseautage entre les professionnels industriels et académiques du secteur

Promouvoir l'innovation et le partage de connaissances techniques

Recenser les besoins des industriels membres du club

Contribuer fortement à la mise en place de projets collaboratifs entre des industriels et des laboratoires académiques



Sonde démontée utilisée pour la spectroscopie RMN *in situ* au laboratoire CEMHTI.



Chambre d'accueil d'échantillons du Microscope électronique à balayage (MEB) de la plateforme MACLE

MATEX est un dispositif Ambition recherche et développement (ARD) financé par la région Centre-Val de Loire.

www.ard-matex.fr

Suivre MATEX sur

LinkedIn : <https://www.linkedin.com/company/ard-matex/>

YouTube : <https://www.youtube.com/@ARDMATEX>

Les lépreux au Moyen Âge : exclus ou élus ?

De la série télévisée *Kaamelott* d'Alexandre Astier au film *La Princesse Mononoké* d'Hayao Miyazaki en passant par *L'Île des oubliés*, le roman à succès de Victoria Hislop, les lépreux ne cessent de nourrir l'imaginaire contemporain de la figure du paria. Quid de l'imaginaire médiéval autour de ces malades ?

Si la lèpre a progressivement disparu en Europe durant l'Époque moderne, son souvenir demeure vivace tant ses symptômes apparents ont marqué les savants, médecins et hommes de lettres des siècles passés, qui en ont livré de nombreuses descriptions. Déformé, atteint dans sa chair, pourrissant dès avant sa mort, le lépreux est l'image d'Épinal de la figure du paria, de l'exclu rejeté en raison de sa différence. Cependant, une incursion au Moyen Âge, et plus particulièrement dans les images médiévales, permet de saisir une autre réalité, bien différente de notre imaginaire contemporain.

UNE MALADIE BIBLIQUE ET DIVINE

La conception médiévale de la lèpre s'enracine dans la Bible. Cette maladie, dotée d'une forte charge symbolique, est un marqueur de la nature des relations entre les hommes et Dieu. Le système de représentation à l'œuvre autour de la lèpre et des lépreux au Moyen Âge est le résultat de constructions culturelles complexes.



Registre supérieur : baptême du Christ ; Registre inférieur : guérison de Naamân — Paris, BnF, ms. Français 400, f.7v — Source gallica.bnf.fr / BnF

Les Saintes Écritures instaurent l'ambivalence de la lèpre, sa nature double, qui irriguera l'imaginaire médiéval de cette maladie pendant de nombreux siècles. Dans l'Ancien Testament, elle est le plus souvent une punition, un châtement divin. Ozias, roi de Juda au VIII^e siècle avant notre ère, en fait les frais au cours de son règne. Grand chef militaire, roi bâtisseur ayant développé l'agriculture, il est puissant. Néanmoins, pétri d'orgueil, il cherche à s'attribuer les fonctions des prêtres du Temple et encense l'autel du Temple de Jérusalem. Pour le punir de cet excès d'orgueil, Yahvé, Dieu d'Israël le frappe de la lèpre.

Une enluminure au folio 109 verso du manuscrit français 312 de la Bibliothèque nationale de France (BnF) — une encyclopédie rédigée en 1396 — met particulièrement bien en lumière l'orgueil du souverain. Ozias, à gauche, supervise la plantation d'un arbre. L'un des cultivateurs est muni d'une houe et remue la terre ; l'autre tasse la terre autour de l'arbre qu'il tient droit. Des rayons rouges sortent des nuées, frappant Ozias au visage. Dans cette peinture, le peintre renonce à représenter le souverain dans le Temple au profit d'une analogie renforçant le caractère orgueilleux ainsi que la gravité de la faute commise. En représentant deux personnages autour d'un arbre et en faisant passer à travers lui les rayons porteurs du mal punitif, le peintre établit une analogie entre l'acte orgueilleux d'Ozias et le péché originel.

**" la lèpre est toujours un instrument
et un témoin
de la puissance divine. "**

En ce qui concerne le Nouveau Testament, l'usage fait de la lèpre diffère totalement. Le Christ n'utilise pas cette maladie à des fins de châtement : au contraire, il guérit les lépreux du terrible mal qui les ronge. Ces guérisons miraculeuses mettent en valeur sa miséricorde. Tantôt négative lorsqu'elle est une punition, tantôt positive lorsqu'elle se fait l'instrument de la miséricorde du Seigneur, la lèpre est toujours un instrument et un témoin de la puissance divine.

IMAGE ET ÉLU DU CHRIST

Une enluminure peinte au folio 1 recto du manuscrit latin 14401 de la BnF — un livre biblique du XII^e siècle — suggère un rapprochement très étroit entre le Christ et les lépreux.

Job, un personnage biblique, sous les traits d'un vieillard barbu et dont le corps est couvert d'ulcères, est représenté assis, trônant, vêtu d'un vêtement drapé et muni d'un nimbe. Il tient dans sa main gauche un phylactère qu'il montre de sa main droite. Ce dernier porte l'inscription suivante : dominus dedit d(omi)n(us) abstulit, « Dieu a donné, Dieu a repris » issue du Livre de Job (1, 21). Les trois lettres de son nom sont inscrites à l'intérieur du nimbe. Par ce procédé habile, le peintre établit un rapprochement clair entre Job et Dieu en créant une analogie entre le nimbe de Job et le nimbe crucifère du Christ. Ce rapprochement est renforcé par la position de Job, trônant tel le Christ en majesté. En outre, l'aplat de couleur bleu entourant Job

n'est pas sans rappeler la mandorle — ici dessinée par le siège — entourant le Christ dans les représentations de la *Maiestas Domini*. Néanmoins, dans le cas de Job, la mandorle, tronquée dans sa partie supérieure, est incomplète, permettant au peintre de demeurer dans l'analogie entre Job et le Christ, sans risque de confusion entre les deux.

Au Moyen Âge, la lèpre permet de se rapprocher de Dieu. Les lépreux souffrent et sont humiliés dans leur chair à l'image du Christ ayant souffert et ayant été humilié dans sa chair. En outre, le malade qui accepte volontairement sa souffrance imite le Christ ayant accepté la sienne pour le rachat des péchés de l'humanité. Il est alors l'image du Christ souffrant.

UN MODÈLE DE CONVERSION

En acceptant sa souffrance — suivant en cela le modèle christique — le lépreux opère sa conversion, en ce sens qu'il se rapproche de Dieu et affermit sa foi. Image et élu du Christ souffrant, il devient l'instrument nécessaire et efficace d'un appel à la conversion lancé aux fidèles.

Deux peintures au folio 7 verso du manuscrit français 400 de la BnF — un exemplaire du *Speculum humanae salvationis* réalisé au XIV^e siècle — illustrent parfaitement cela. Dans ce traité de théologie morale, la scène de la guérison du général syrien lépreux Naamân dans le Jourdain est mise en relation avec celle du baptême du Christ dans le même fleuve. Ainsi, dans la peinture du registre inférieur, Naamân est représenté nu et à genoux dans le fleuve. Le haut de son corps est tourné vers l'observateur et l'observatrice de l'image, qui deviennent alors les témoins du miracle de la guérison. La peinture au registre supérieur représente quant à elle le baptême du Christ dans le Jourdain. Ce dernier, également nu et à genoux, a les bras en croix le long de son corps, cachant sa nudité. Il est tourné vers saint Jean Baptiste qui l'asperge avec l'eau du fleuve. La construction des



Châtiment d'Ozias et plantation d'un arbre par deux cultivateurs — Paris, BnF, ms. Français 312, f.109v — Source gallica.bnf.fr / BnF



Job trônant — Paris, BnF, ms. Latin 14401, f.1r — Source gallica.bnf.fr / BnF

deux peintures permet à l'œil attentif de construire une troisième scène suggérée par le peintre. Naamân étant placé dans l'axe du Christ, le peintre suggère que saint Jean Baptiste baptise non seulement le Christ, mais également Naamân.

La guérison de ce dernier — qui est en réalité son baptême — préfigure ainsi le baptême du Christ. Faisant face aux observateurs et observatrices de l'image, Naamân les invite à réaliser leur propre conversion — par le baptême ou en affermissant leur foi tiède — dans le but d'assurer le salut de leur âme.

En définitive, les lépreux, bien que stigmatisés et souvent rejetés par leurs contemporains au Moyen Âge, n'en demeuraient pas moins des figures positives. Ils étaient ainsi, à l'image de leur nature double, négative et positive, à la fois des exclus et des élus. Ils occupaient une place importante dans la société médiévale et dans son imaginaire, en constituant un intermédiaire entre le commun des mortels et Dieu. Élus du Christ, les lépreux faisaient figure de modèle de conversion pour leurs contemporains.

Thomas GUGLIELMO - CESC
thomas.guglielmo@univ-poitiers.fr
<https://cescm.labo.univ-poitiers.fr/>

Inauguration



© ISAE-ENSMA

La chaire "Emeraude" entre Safran et l'institut P' est dédiée à l'étude des superalliages à base de nickel pour aubes de turbine. Elle contribue à la décarbonation des moteurs du futur et à la souveraineté nationale. Elle a été inaugurée en présence de Pierre Roy, directeur adjoint de la Direction des Relations avec les Entreprises du CNRS, de représentants de Safran, de l'université de Poitiers et de l'institut P'.

6 septembre Poitiers

70 ans du CESCO



© CESCO

Le Centre d'Etudes Supérieures de Civilisation Médiévale a fêté ses 70 ans. Pour l'occasion, deux soirées consacrées au Moyen Âge et ouvertes au grand public ont été organisées en présence des représentants du CNRS, de l'université de Poitiers, de la mairie de Poitiers et du laboratoire.

14 - 15 septembre Poitiers

Labos communs



© XLIM

En 2023, l'Institut de recherche XLIM (CNRS, Université de Limoges, Université de Poitiers) a atteint le nombre exceptionnel, à lui seul, de 10 laboratoires communs en activité.

Une journée a été consacrée à la mise en lumière de cette forme de collaboration public-privé au soutien de l'innovation, en présence et avec la participation d'élus territoriaux, d'entrepreneurs et de scientifiques.

26 septembre Limoges

Les Visites Insolites du CNRS



© Miléna Verot - CNRS



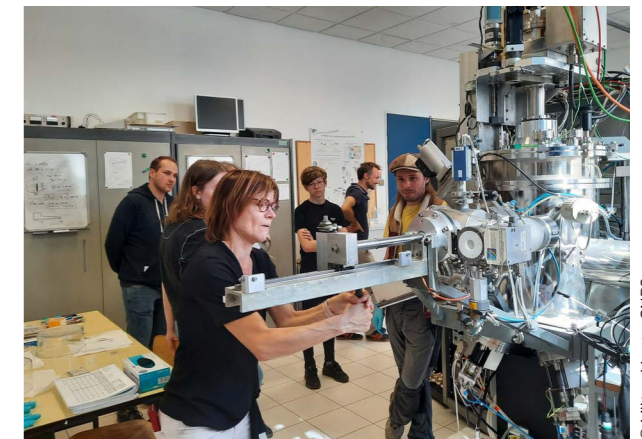
© CRIBL

10 visites ont eu lieu dans des laboratoires de la circonscription à Poitiers, Limoges, Orléans et Bourges. Près de 90 visiteurs ont ainsi franchi les portes des laboratoires.

Pour la 4^e année, les Visites insolites est un dispositif propre au CNRS d'accueil du grand public en petit comité pour découvrir des installations ou des environnements scientifiques peu accessibles en temps ordinaire.

<https://visitesinsolites.cnrs.fr/>

6 au 16 oct. Poitiers, Limoges, Orléans, Bourges



© Miléna Verot - CNRS

Cérémonie des Talents



© Linda Jeuffrault - CNRS

Maria Concepcion Ovin Ania, chimiste des matériaux au CEMHTI et Nadine Schibille, historienne des mondes anciens et médiévaux à l'IRAMAT ont reçu respectivement la médaille d'argent et la médaille de bronze du CNRS pour l'excellence de leurs travaux de recherche.

La cérémonie a eu lieu en présence de Jacques Maddaluno, Directeur scientifique de CNRS Chimie et de Caroline Bodolec, directrice scientifique adjointe de CNRS Sciences Humaines & Sociales.

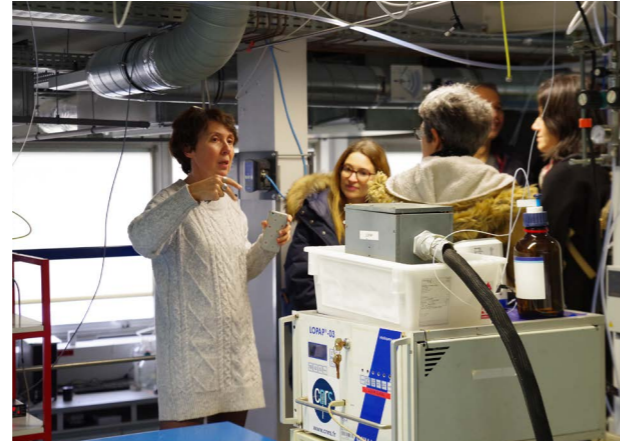
Voir ou revoir les portraits des lauréates
<https://www.cnrs.fr/fr/talent/index>

23 octobre Orléans

Année de la physique



© Miléna Vérot - CNRS



© Linda Jeuffraut - CNRS

Trois journées ont été consacrées à la formation d'enseignants du 2nd degré sur la circonscription. La première à Bourges pour une quinzaine de personnes, avec la Maison pour la Science, la deuxième à Poitiers pour 40 personnes et la troisième à Orléans pour 60 enseignants. Le but est de présenter des sujets actuels de physique, tels qu'ils sont traités par les laboratoires de recherche puis, au cours d'ateliers ou de démonstrations, de susciter des idées pour animer l'enseignement de la physique face aux élèves, collégiens ou lycéens. Une autre session aura lieu à Limoges en mai, pour 30 enseignants.

14 novembre / 18 janvier / 8 février Bourges, Poitiers, Orléans

Live Twitch depuis le labo



© Miléna Vérot - CNRS

Séverine Atis et Germain Rousseaux, chercheurs et Alexis Bossard, doctorant, étaient en direct sur Twitch depuis l'Institut P^r (Poitiers) pour une émission de vulgarisation scientifique dans le cadre de l'évènement 24H Vulga. Simulations de trous noirs, instabilités physiques, anecdotes de la vie de scientifiques étaient au programme... 150 personnes ont suivi le live. Pour en savoir plus sur l'évènement 24H Vulga : <https://24h.pogscience.org/>

2 décembre Poitiers

Fête de la science 2024



© Linda Jeuffraut - CNRS

Le Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports a donné les dates de la 33^{ème} édition de la Fête de la Science. Elle aura lieu du 4 au 14 octobre 2024 sur le thème "Océan des savoirs". Le campus CNRS d'Orléans-La Source accueillera le Village des sciences les 5 et 6 octobre.

Avec le jaune, le CNRS affirme sa singularité



© Charte graphique CNRS

Depuis fin novembre 2023, le CNRS s'est doté d'une nouvelle charte graphique avec une évolution de son logo et de ses codes graphiques. Afin de faire gagner en visibilité l'image du CNRS, l'établissement a opté pour une identité graphique de couleur singulière (le jaune), qui se marie avec le bleu marine du logo tout en lui donnant une certaine personnalité en matière de communication.

Novembre

Du changement pour les unités

L'INEM devient le laboratoire Immunologie et neurogénétique expérimentales et moléculaires.

L'unité 4CS devient l'UAR Biologie et Santé BioS. Elle a été créée à Poitiers pour une durée de 5 ans. Grâce à ses plateformes technologiques, cette unité met à disposition un parc d'équipements de dernière génération nécessaires aux projets de recherche et à l'innovation en biologie et en santé. La plateforme d'imagerie et d'analyse cellulaire comporte des services de microscopies photonique, confocale, électronique, de cytométrie en flux, de tri cellulaire et plus récemment de bio-impression 3D.

1^{er} janvier



© Charte graphique CNRS

Lire l'interview de Thi Nhu An Pham, cheffe du service Communication institutionnelle et marque à la direction de la communication du CNRS : <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/avec-le-jaune-le-cnrs-affirme-sa-singularite>

Retrouver la nouvelle charte graphique sur l'intranet du CNRS (accès restreint)

De nouveaux directeurs

Ils ont pris leurs nouvelles fonctions au 1^{er} janvier 2024

- Mickaël Deschamps — CEMHTI
- Christel Bidet-Ildi — CERCA
- Samuel Leturcq — CITERES
- Franck Levassort — GREMAN
- Eric Robert — GREMI
- Cédric Lecouvey - IDP
- Dieudonnée Togbé — INEM
- Valéry Catoire — LPC2E
- Lofti Abouda — LLL
- Christophe Tournassa — OSUC

1^{er} janvier

Agenda

Colloques

JIFT 2024

35^{èmes} Journées Internationales Franco-phones de Tribologie.

<https://jift2024.sciencesconf.org/>

15 - 17 mai Poitiers

IWM 12th

Colloque international sur les microplasmas.

<https://iwm12.sciencesconf.org/>

3 - 7 juin Orléans

The futur of molecular MR

Un événement pour identifier de nouvelles opportunités en IRM moléculaire.

<https://www.molecularmr.org/>

17 - 20 juin Orléans

RonsArT

Communications académiques et performances artistiques pour les 500 ans de Pierre de Ronsard. Colloque festival.

<https://ronsart.hypotheses.org/>

10 - 13 sept. Tours

Insectes et innovation

Des insectes et des hommes pour un avenir durable.

<https://insecte-innovation.sciencesconf.org>

14 - 15 oct. Tours

Manifestations

LES SCIENCES'ELLES



EXPOSITION - Le laboratoire de mathématiques appliquées propose au grand public l'exposition Les Sciences'Elles qui regroupe 19 portraits de chercheuses et techniciennes au CNRS. On peut découvrir leurs parcours et les métiers qu'elles exercent pour la science.

14 mars - 11 avril Poitiers

C GÉNIAL

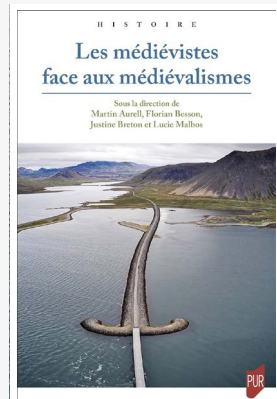
C.gENIAL

Fondation pour la culture scientifique et technique

MANIFESTATION - Concours national ouvert aux collégiens et aux lycéens, visant à promouvoir l'enseignement des sciences et des techniques par la sélection de projets d'équipes réunissant les élèves et leurs enseignants. Finale nationale fin mai 2024.

27 mars - 3 avril Poitiers/Orléans

A DÉCOUVRIR



Poitiers

#sem2024cescm

68^e édition

Les semaines d'études Médiévales

visites conférences excursions

Session internationale de formation

17-28 juin 2024

Ouvert à tous

Programme, tarifs et inscriptions
<http://cescm.labo.univ-poitiers.fr/>
 Tél. 33 (0)5 49 45 45 47

CESCM
 Hôtel Berthelot
 24 rue de la Chaîne
 86000 POITIERS

Coordination générale : Ulysse Lafleur - CNRS CCM 0218

Coordination générale : Ulysse Lafleur - CNRS CCM 0218