

# microscop

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

n°85 - mars 2022

## Environnement

0-ZNS, un œil sur la nappe phréatique de Beauce

## Biologie

Des anticorps de lama pour étudier et contrôler la reproduction

## Société

À Mayotte, une approche mathématique de la pandémie

## Histoire

Comètes et catastrophes naturelles au Moyen Âge



cnrs



ISSN 1291-8083

**Photo couverture :** Vue du puits d'étude O-ZNS.  
© Pascal Toutin - CNRS - Bouygues

**CNRS Centre Limousin Poitou-Charentes**  
3E, Avenue de la Recherche Scientifique  
CS 10065 45071 ORLÉANS CEDEX 2  
T 02 38 25 52 01  
F 02 38 69 70 31  
www.dr8.cnrs.fr  
Contact : Communication@dr8.cnrs.fr  
@DR08\_CNRS

**Directeur de la publication**  
Ludovic Hamon

**Secrétaires de la publication**  
Florence Royer  
Miléna Verot

**Création graphique/conception**  
Linda Jeuffraut

**Ont participé à ce numéro :**  
Mohamed Azaroual, Julien Balicchi,  
Karine De Oliveira Vigier, Émilie Destandau,  
Vanessa Ernst-Maillet, Camille Gauthier,  
Ameni Gharzouni, Juliette Gourdon,  
Élise Guyot, Frédéric Jean-Alphonse,  
Alain Karas, Émilie Kurdziel,  
Solym Manou-Abi, Cyrille Menudier,  
Élisabeth Nau, Lila Ouamara,  
Sylvie Rossignol, Yousri Slaoui,  
Laurence Vivier.

**Erratum numéro HS 2021 :** Dans le dossier Hydrogène, il fallait lire "Il suffit de 200 kg d'hydrogène pour alimenter en électricité une famille de 4 personnes habitant un petit appartement pendant un an. Et 484 kg d'hydrogène sont nécessaires par an pour alimenter en électricité un appartement de 100 m<sup>2</sup> consommant en moyenne 16 000 kWh." au lieu de "Il suffit théoriquement de 2 kg d'H<sub>2</sub> pour alimenter en électricité une famille moyenne de 4 personnes pendant un an".

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



# Éditorial

Bonjour à toutes et à tous,

En ces moments un peu troubles, prenons le temps de nous émerveiller par les recherches menées par les laboratoires de notre circonscription sur différentes thématiques : Moyen Âge, reproduction, systèmes hydrogéologiques, cosmétique, modélisation mathématique, antennes, matériaux, développement de procédés durables...

Ce nouveau numéro de Microscop met en évidence que la recherche est mobilisatrice et génère une dynamique collective déterminante dans la réalisation d'un projet scientifique.

Le projet de construction du puits O-ZNS en est une parfaite illustration. Ce projet a fait appel à différents corps de métiers qui, pour certains d'entre eux, étaient éloignés des enjeux de la recherche mais qui, au fil du projet, se sont sentis investis d'une mission au service de la science.

Le projet Valbiocosm est une autre illustration d'un projet collaboratif impliquant différents acteurs aux compétences complémentaires dont l'action est guidée par une volonté de développer un modèle circulaire de conception de nouveaux ingrédients cosmétiques.

Ces projets impliquent régulièrement des acteurs du monde socio-économique soit en tant que partenaires ou en tant que prestataires. Le laboratoire commun est l'une des formes les plus abouties de la relation avec un partenaire industriel. Microscop met en avant l'un de ces laboratoires communs. X-SELANS regroupe les équipes d'XLIM et de Safran Data Systems et vise, avec le soutien de l'ANR, à mettre au point différents composants ou équipements hyperfréquences.

Très bonne lecture.

**Ludovic Hamon**  
Délégué régional



## 4 Biologie

- Des anticorps de lama pour étudier et contrôler la reproduction

## 6 Environnement

- O-ZNS, un œil sur la nappe phréatique de Beauce

## 8 Chimie

- Un modèle circulaire de conception de nouveaux ingrédients cosmétiques
- Les chimistes modélisent leurs réactions pour développer des procédés durables

## 12 Société

- À Mayotte, une approche mathématique de la pandémie

## 14 Matériaux

- Les géopolymères : le défi d'une résistance à haute température sur des pièces de grande dimension
- X-SELANS : vers de nouvelles technologies d'antennes actives et de stations de réception

## 18 Histoire

- Comètes et catastrophes naturelles au Moyen Âge

## 20 Actualités

# Des anticorps de lama pour étudier et contrôler la reproduction

Les hormones et leurs dérivés sont largement utilisés pour contrôler la reproduction mais leur usage entraîne des effets indésirables sur la santé et l'environnement. De nouveaux outils moléculaires, les fragments d'anticorps, représentent une alternative prometteuse.



Le développement de fragments d'anticorps appelés VHH ou nanobodies sont dérivés d'anticorps retrouvés uniquement chez les camélidés et les requins.

La reproduction est un processus physiologique essentiel au maintien du vivant, mais dans un certain nombre de cas, il est souhaitable de la maîtriser. Ainsi, dans l'espèce humaine, environ 15% des couples sont touchés d'infertilité, et on estime entre 3 et 4 % le nombre d'enfants nés en France à l'aide de l'assistance médicale à la procréation (AMP). À l'inverse, 43% des femmes en âge de procréer ont recours à une contraception hormonale. Dans les élevages d'animaux d'intérêt agronomique (bovins, ovins, caprins, etc), la fécondation *in vitro* est d'usage très fréquent, notamment pour maintenir des traits phénotypiques d'intérêt agronomique. Par conséquent, les enjeux sociétaux et économiques du contrôle de la reproduction sont colossaux, tant chez la femme avec la contraception et l'AMP, que dans les applications zootechniques.

## LA SIGNALISATION AU CŒUR DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE

Chez les mammifères, la reproduction est orchestrée par deux hormones appelées gonadotropines, produites par l'hypophyse : la FSH et la LH. Une fois sécrétées dans le sang, celles-ci se lient spécifiquement à leurs récepteurs, le RFSH et le RLH, exprimés à la surface de cellules somatiques dans les gonades mâles et femelles, les testicules et les ovaires. Cette liaison provoque l'activation de plusieurs événements de signalisation à l'intérieur de la cellule. Le signal intracellulaire majeur, appelé second messager, est l'adénosine monophosphate cyclique (AMPC). L'augmentation de la production d'AMPC et sa diffusion

au sein de la cellule modulent l'activité de nombreuses cibles moléculaires réparties dans les différents compartiments subcellulaires. La voie de signalisation AMPC joue un rôle central dans le fonctionnement des gonades, en particulier dans la production d'hormones stéroïdes, telles que la testostérone, la progestérone et l'estradiol. Par l'intermédiaire de ces stéroïdes, les gonadotropines contrôlent la production des spermatozoïdes, la maturation des follicules ovariens et l'induction de l'ovulation.

## ORGANISER, LE SECRET DES CELLULES POUR MAÎTRISER L'ACTIVITÉ

Pour contrôler et coordonner l'ensemble des activités intracellulaires, les récepteurs organisent la signalisation AMPC dans le temps et dans l'espace. Dès qu'ils s'associent aux gonadotropines, une première vague de signal AMPC intracellulaire, transitoire, est émise depuis la membrane plasmique. Peu après cette première vague, les récepteurs sont internalisés dans des vésicules membranaires appelées endosomes, depuis lesquelles ils génèrent une deuxième vague d'AMPC, plus soutenue dans le temps. Le rôle de cette organisation dynamique de la signalisation est loin d'être totalement compris, mais des données préliminaires suggèrent que l'AMPC générée à partir des endosomes est essentielle aux fonctions reproductives. Le concept de signalisation compartimentée est émergent dans le domaine des récepteurs couplés aux protéines G (RCPG), dont font partie les récepteurs des gonadotropines. La compartimentation de la signalisation de plusieurs RCPG est très importante car elle régule des fonctions physiologiques spécifiques. De fait, une organisation spatiale de la signalisation déficiente peut être corrélée à des conditions pathologiques. C'est pourquoi un lien entre baisse de fertilité et désorganisation de la signalisation est actuellement recherché. Une connaissance plus détaillée de la dynamique des mécanismes de la signalisation compartimentée est nécessaire, afin de développer des stratégies optimisées pour un contrôle fin de la reproduction.

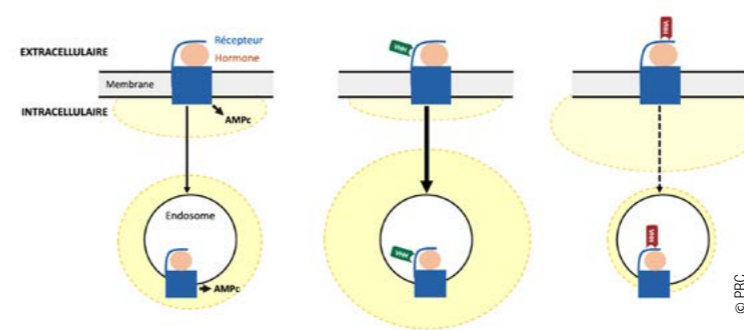
"... le développement de... stratégies thérapeutiques ciblées et optimisées pour le contrôle de la reproduction."

## LES VHH, MODULATEURS DE L'ACTIVITÉ DES RÉCEPTEURS

Pour analyser ces mécanismes moléculaires et leurs conséquences physiologiques, des outils sont nécessaires. Une équipe de chercheurs de l'unité Physiologie de la Reproduction et des Comportements (PRC UMR7247 – CNRS/ INRAE/Université de Tours/IFCE) développe des approches innovantes pour moduler la signalisation des récepteurs. Leur stratégie est axée sur le développement de fragments d'anticorps appelés VHH ou nanobodies, dérivés d'anticorps retrouvés uniquement chez les camélidés et les requins. Les anticorps conventionnels de type immunoglobuline (Ig) de la plupart des espèces animales sont composés de 2 chaînes lourdes et 2 chaînes légères alors que les VHH sont



Pour mesurer les dynamiques d'AMPC, des biosenseurs sont exprimés dans les cellules. Les variations des signaux de fluorescence et de luminescence des biosenseurs sont mesurées en temps réel avec un lecteur de plaque.



Signalisation AMPC induite par la liaison de l'hormone sur son récepteur, générée depuis la membrane plasmique, puis depuis les endosomes après internalisation (à gauche). Modulation de l'AMPC par des VHH (au centre, à droite).

dépourvus de chaînes légères. Comme les anticorps classiques, les VHH sont capables de lier leur cible avec une haute affinité et de manière spécifique. Néanmoins, leur petite taille, dix fois inférieure à celle des Ig, ainsi que leur structure particulière, leur confèrent un avantage important pour atteindre des régions des récepteurs difficiles d'accès pour les Ig conventionnelles. En se liant à différentes régions des récepteurs, les VHH peuvent se comporter comme des ligands capables de moduler positivement ou négativement leur trafic intracellulaire et leur signalisation. Ainsi, il est possible de favoriser la signalisation depuis un compartiment spécifique, membrane plasmique ou endosomes, avec des conséquences variables sur les processus cellulaires dont la stéroïdogénèse, ce qui aide à mieux comprendre le rôle fonctionnel de chaque compartiment.

Au laboratoire, les VHH sont générés par immunisation de lama ou par ingénierie moléculaire. Leur caractérisation est réalisée à l'aide de plusieurs approches expérimentales utilisant des cellules gonadiques en culture, dans lesquelles sont mesurés la dynamique de signalisation AMPC à l'aide de biosenseurs fluorescents (capteurs dans la cellule qui

permettent de traduire les variations de l'AMPC intracellulaire en signaux fluorescents), le trafic des récepteurs par imagerie de fluorescence, et la production de stéroïdes. Pour comprendre le rôle de la signalisation compartimentée sur le plan physiologique, l'impact des VHH est analysé après administration à des animaux modèles tels que des souris ou des animaux d'élevage. Ces approches devraient permettre, à terme, d'orienter le développement de nouvelles stratégies thérapeutiques ciblées et optimisées pour le contrôle de la reproduction.

## VERS DES OUTILS THÉRAPEUTIQUES

Les approches actuelles pour améliorer la fertilité et induire l'ovulation s'appuient largement sur l'utilisation des gonadotropines d'origine extractive ou recombinante. À l'inverse, les approches contraceptives utilisent des stéroïdes et leurs dérivés de synthèse. Cependant, ces méthodes sont sujettes à de possibles effets indésirables comme des saignements anormaux, une prise de poids, des nausées, des maux de tête, et à une augmentation des risques de thrombose pour la contraception œstroprogestative. De plus, l'accumulation des stéroïdes dans l'environnement est source de pollution et de risques pour la santé humaine et animale, car ces molécules peuvent agir comme des perturbateurs endocriniens. Les chercheurs voient dans les VHH une alternative non hormonale prometteuse, dépourvue des limitations des hormones recombinantes et des stéroïdes, que ce soit pour la contraception ou l'amélioration de la fertilité.

Camille GAUTHIER < PRC  
camille.gauthier@inrae.fr

Juliette GOURDON < PRC  
juliette.gourdon@inrae.fr

Frédéric JEAN-ALPHONSE < PRC  
frederic.jean-alphonse@inrae.fr

[https://www6.val-de-loire.inrae.fr/physiologie\\_reproduction\\_comportements](https://www6.val-de-loire.inrae.fr/physiologie_reproduction_comportements)

# O-ZNS, un œil sur la nappe phréatique de Beauce

O-ZNS (pour Zone Non Saturée en eau) est un observatoire unique en son genre dont le but est d'approfondir la compréhension du fonctionnement des systèmes hydrogéologiques, partie importante de la zone critique. Cette zone d'intenses interactions entre l'atmosphère, le sol, le sous-sol jusqu'aux nappes d'eau souterraine est fortement impactée par les changements globaux et les activités humaines notamment agricoles.

L'observatoire O-ZNS, installé à Villamblain (40 km au Nord-Ouest d'Orléans), bénéficie d'une instrumentation de pointe en géophysique, hydrogéologie, physico-chimique et microbiologique disposée en surface, à travers le revêtement interne du puits, dans les forages environnants et les fosses pédologiques pour recueillir des données hautement résolues et spatialisées très précises sur les échanges chimiques et thermiques entre la zone non saturée (la partie supérieure du sol et du sous-sol où sont présents l'air et l'eau) et la nappe phréatique de Beauce qui fluctue entre 16 et 20 m de profondeur. Les hydrogéologues auront alors accès à tous les flux bidirectionnels des fluides à travers le continuum « atmosphère, sol, rhizosphère, zone non saturée, frange capillaire, nappes aquifères » depuis la surface du sol jusqu'au toit de la nappe. Les schémas d'imagerie géophysique obtenus du sous-sol permettront de maîtriser les hétérogénéités du bâti géologique poreux, fissuré, fracturé et karstifié de la parcelle O-ZNS sous fort impact d'exploitation agricole et du changement climatique.

O-ZNS fait partie du programme régional PIVOTS, ensemble unique de 7 plateformes expérimentales, d'observation et analytiques de surveillance de la qualité de l'environnement.

**8 tonnes**  
D'ÉCHANTILLONS DE ROCHES

**8**  
FORAGES  
**de 20 à 25 m**  
DE PROFONDEUR POUR LE SUIVI DE LA NAPPE  
ET L'IMAGERIE GÉOPHYSIQUE

**3**  
FORAGES ÉQUIPÉS  
**de fibre optique**  
POUR MESURER LA TEMPÉRATURE, LES SIGNAUX  
ACOUSTIQUES ET LES MICROMOUVEMENTS/  
COMPRESSION

**pour + de 10 ans**  
D'ÉTUDES DE LA NAPPE PHRÉATIQUE



Vue de l'intérieur du puits une fois terminé. On distingue les claveaux en pierre maçonnée.



Vue en contre plongée du puits avec l'escalier d'accès à droite. Une fois creusé, le puits a été habillé d'un parement en bois temporaire.

**1 Puits d'observation de :**

**4 m**  
DE DIAMÈTRE INTERNE

**20 m**  
DE PROFONDEUR

**1,808 M €**  
DE FINANCEMENT

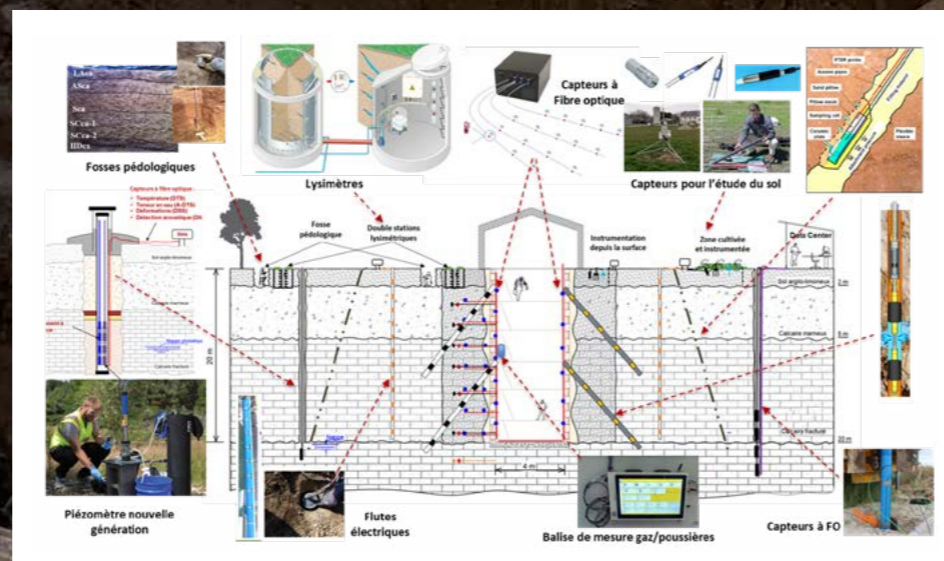


Schéma d'instrumentation scientifique du site O-ZNS (en surface, à travers le puits central et dans les forages environnants).



**près de 936**  
CLAVEAUX EN PIERRE MAÇONNÉE  
DU COMBLANCHIEN

**de 270 à 380 kg**  
CHACUN

La pierre maçonnée du Comblanchien est le matériau géologique le plus proche chimiquement des carbonates de la nappe de Beauce.



Mohamed AZAROUAL < ISTO  
mohamed.azaroual@cnrs-orleans.fr  
<https://www.isto-orleans.fr>  
<https://plateformes-pivots.eu>

# Un modèle circulaire de conception de nouveaux ingrédients cosmétiques

Un travail collaboratif « circulaire », unique en France a été développé en Centre-Val de Loire entre 4 laboratoires académiques et 4 partenaires socio-économiques dont l'objectif était de lancer une démarche de valorisation de la biodiversité végétale régionale pour produire des molécules à forte valeur ajoutée pour la filière cosmétique. Retour sur les 3 années du projet Valbiocosm.



Culture cellulaire végétale dont on peut extraire les molécules d'intérêt.

## LE SOURCING VÉGÉTAL

La première étape a été d'optimiser les conditions culturales de biomasses végétales, l'une dite « naturelle », établie à partir de plantes, et l'autre dite « biotechnologique », provenant de culture de cellules végétales.

Le Laboratoire de Biologie des Ligneux et des Grandes Cultures (LBLGC – USC1328 INRAE/EA 1207 Université d'Orléans) est spécialisé dans l'étude du métabolisme de plantes. Il a travaillé, en collaboration avec l'entreprise Botanicosm'ethic, sur la sélection de différentes espèces végétales facilement accessibles ou cultivables en Région Centre-Val de Loire. Ainsi des modes de cultures traditionnels en terre et plus innovants hors sols ont été mis en œuvre pour pouvoir récolter différentes parties de plantes des feuilles /fleurs jusqu'aux racines. En parallèle, le laboratoire Biomolécules et Biotechnologies Végétales (BBV – EA 2106 Université de Tours), en lien avec la société Sederma et le LBLGC, a favorisé l'optimisation des méthodes biotechnologiques de culture en développant des cultures de cellules végétales des plantes sélectionnées. Cette phase d'optimisation des cultures a donné lieu à des procédés innovants biotechnologiques et de bio-production in-vitro d'espèces végétales. Ces procédés nécessitent de nombreuses étapes de sélection pour orienter et favoriser la synthèse des composés d'intérêt.

"... des solvants verts ou biosourcés, non toxiques pour l'environnement et pour l'Homme."

Ainsi en première intention 19 plantes ont été sélectionnées. Compte tenu d'une première étude bibliographique, d'informations réglementaires, de résultats préliminaires et d'intérêt des partenaires, le projet s'est recentré sur une petite dizaine de plantes dont notamment le chardon marie *Silybum marianum*, la bardane *Arctium*

*lappa*, l'armoise annuelle *Artemisia Annua* pour le sourcing naturel, le lin *Linum usitatissimum* et *Linum grandiflorum*, et le chardon marie *Silybum marianum* pour le sourcing biotechnologique.

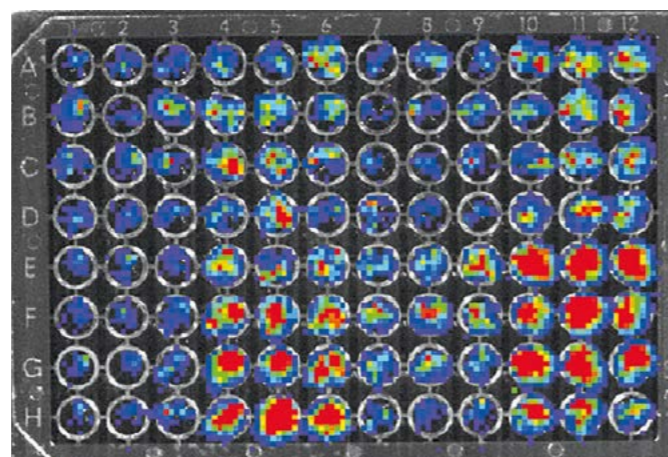
## APPROCHES D'EXTRACTION ÉCORESPONSABLE

Les travaux effectués sur ces biomasses ont permis de développer, à l'Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA – UMR7311CNRS/ Université d'Orléans), des approches d'extraction écoresponsables, utilisant des solvants verts ou biosourcés, non toxiques pour l'environnement et pour l'Homme. Le laboratoire a aussi eu recours à des technologies avancées par ultrasons et micro-ondes, moins consommatrices d'énergie et plus performantes en terme de rendement que les techniques d'extraction conventionnelles.

De nombreux extraits ont été caractérisés sur le plan moléculaire via différentes méthodes (chromatographie, spectrométrie de masse, traitement bio-informatique, analyses statistiques), permettant d'identifier les molécules composant les extraits et d'établir des liens de corrélation entre la structure des métabolites et leur activité biologique. La comparaison des différents profils obtenus en fonction de ces conditions qui amènent à produire plus ou moins de molécules actives ont aidé à mieux appréhender l'impact des conditions de culture sur le métabolisme des plantes, et ainsi optimiser les procédés de culture.

## S'ASSURER DE L'ACTIVITÉ DES NOUVEAUX EXTRAITS

Des méthodes innovantes d'évaluation de l'activité biologique, notamment micro-ARN spécifique, se sont avérées efficaces, non seulement pour faciliter l'identification de composés bioactifs, mais également pour leur attribuer de nouvelles propriétés biologiques. Cette objectivation biologique des extraits végétaux a été opérée au Centre de Biophysique Moléculaire (CBM – UPR4301 CNRS), par la mise en place d'un panel de 6 tests utilisés en routine (innocuité, régénérant, anti-oxydant, hydratant, prolifération, protection),



Criblage de l'activité biologique des extraits de plantes qui se manifeste par une fluorescence rouge.



Le chardon marie *Silybum marianum*, une des plantes sélectionnées.

adossés à une nouvelle plateforme de criblage d'activité biologique placée sous contrôle de l'expression du microARN 21.

Ainsi, dès les premières étapes de la mise en place des méthodes de production culturales chez des pépiniéristes, en conditions normales de production, des extraits de plante contenant des molécules bioactives d'intérêt cosmétique pour le soin de la peau, et fondamentales pour la biologie cutanée ont pu être identifiés.

Cette stratégie de criblage inédite est unique en France. Elle a conduit à l'identification de nouveaux actifs d'intérêt cosmétique qui n'auraient pas pu être identifiés par les tests d'activité biologique conventionnels.

## DU LABORATOIRE À LA SERRE

Un point remarquable des travaux réalisés concerne le transfert d'échelle de production des biomasses, optimisées en laboratoire académique, vers les serres du Comité de Développement Horticole (CDHRC), pour générer des données technico-économiques en vue d'une possible exploitation industrielle. Les méthodes de culture sont facilement maîtrisables, modulables grâce notamment à la mise en place et au suivi de paramètres de culture tels que la température, les suppléments salins, l'humidité, ... et ne sont que très peu dépendantes des conditions climatiques. De plus, un processus d'exposition à la lumière artificielle peut être mis en œuvre afin de favoriser la production de composés d'intérêt. Cette méthode présente donc une ressource écologique et économique notable.

Le CDHRC valorise d'ores et déjà ce travail en transférant les procédés de culture aux producteurs horticulteurs et pépiniéristes adhérents au réseau ASTREDHOR\*, afin d'intensifier leurs productions. Le projet Valbiocosm a fait la démonstration de la faisabilité de mettre en place

un circuit court en région Centre-Val de Loire allant de la culture végétale (plante entière ou cellule) à l'ingrédient actif avec une garantie de traçabilité et de qualité. Les méthodes développées au cours des 3 années continuent leur évolution via un réseau scientifique, liant des industriels, des producteurs de matières premières et des académiques et ont contribué au démarrage de nouvelles études.

Équipe Cosmétosciences < COSMÉTOSCIENCES

cosmetosciences@univ-orleans.fr

Émilie Destandau < ICOA

emilie.destandau@univ-orleans.fr

<https://cosmetosciences.org/>

\* Association nationale des structures d'expérimentation et de démonstration en horticulture

Cosmetosciences, financé par la région Centre-Val de Loire, valorise les partenariats entre académiques et industriels de la filière cosmétique. Le projet Valbiocosm (Valorisation de la Biodiversité en Cosmétique) a réuni 4 équipes de recherche - l'ICOA, le LBLGC, le CBM et BBV de l'Université de Tours - associés à 4 partenaires socio-économiques - Botanicosm'ethic (45), Caudalie (45), Sederma (78) et le Comité de Développement Horticole CDHR Centre (45).

Valbiocosm a bénéficié d'une subvention par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) qui intervient dans le cadre de la politique de cohésion économique, sociale et territoriale.

Il a permis, ici, l'acquisition d'un spectromètre de masse, d'un système de chromatographie à partage centrifuge, d'un appareil PCR, d'un microscope optique et fluorescent digital, d'un appareil de chromatographie liquide à très haute performance, et d'un lyophilisateur.



# Les chimistes modélisent leurs réactions pour développer des procédés durables

En chimie, la réaction modèle est un outil pour la caractérisation de catalyseurs hétérogènes dont l'utilisation contribue à réduire et éliminer l'usage ou la génération de substances néfastes pour l'environnement. Et si, demain, « produits chimiques » n'était plus synonyme de danger et de pollution ?

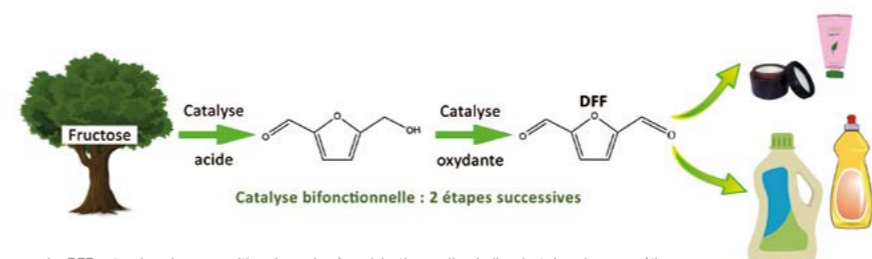
Commençons par définir ce qu'est un catalyseur hétérogène. C'est un solide qui permet d'augmenter la vitesse d'une réaction chimique. Ce solide n'est pas transformé au cours du processus. Son utilisation répond aux préoccupations de « chimie durable » énoncées dès 1998 par Paul Anastas et John Warner : diminution de l'énergie dépensée, diminution de sous-produits et de déchets non valorisables, économie d'atomes. Cette réaction peut se faire en phase gaz (les réactif(s) et produit(s) sont gazeux), ou en phase liquide (les réactif(s) et produit(s) sont en solution, le plus souvent dans un solvant). En catalyse hétérogène, le solide est facilement récupéré en fin de réaction. Il peut être réutilisé plusieurs fois : il est recyclable. Il y a donc économie d'énergie, d'atomes et de temps.

## UNE MEILLEURE COMPRÉHENSION DE LA CATALYSE HÉTÉROGÈNE

Le Laboratoire de Catalyse en Chimie Organique (LACCO), devenu en 2012 l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP – UMR7285 CNRS/université de Poitiers) après fusion avec trois autres laboratoires, fait partie des pionniers de la catalyse en France. De nombreuses réactions chimiques modèles y ont été développées dès les années soixante-dix afin de créer en quelque sorte une bibliothèque de réactions, outils de caractérisation des catalyseurs hétérogènes. En effet, beaucoup de produits manufacturés sont basés sur l'utilisation de la catalyse ; il s'agit pour les chercheurs d'en améliorer la sélectivité,

la performance. Mais une réaction modèle, c'est quoi ? Une réaction chimique devient modèle lorsque l'on passe d'un composé chimique à l'état initial à, au plus, deux nouveaux produits à l'état final en faisant intervenir une seule fonction catalytique caractéristique. En effet, une réaction modèle doit être une réaction simple et facile à mettre en œuvre. Une de ces réactions modèles est toujours utilisée « en routine » à l'IC2MP pour la caractérisation de l'acidité d'un grand nombre de matériaux.

La mesure de l'acidité est un élément indispensable pour appréhender le comportement et comprendre le mode d'action des matériaux dans un procédé catalytique. Il est très facile d'évaluer l'acidité d'une solution aqueuse par la mesure du pH mais cela est plus difficile pour un solide. Pour ce dernier, on peut utiliser des méthodes spectroscopiques compliquées à mettre en œuvre mais aussi la réaction modèle d'isomérisation. Celle-ci consiste à modifier la disposition des atomes dans la molécule de 3,3-diméthylbut-1-ène, ce qui conduit à deux produits différents tous deux composés de six atomes de carbone et de douze atomes d'hydrogène. Cette réaction se fait en phase gaz et a l'avantage de s'adapter à une large gamme de catalyseurs solides très acides comme les zéolithes (solides extrêmement poreux que l'on pourrait qualifier d'éponge minérale), à moyennement acides comme les silice-alumines et à peu acides comme certaines alumines.



Le DFF entre dans la composition des polymères (plastiques d'emballage) et dans les cosmétiques (crème de soins, etc.) permettant ainsi la réduction du bilan carbone.

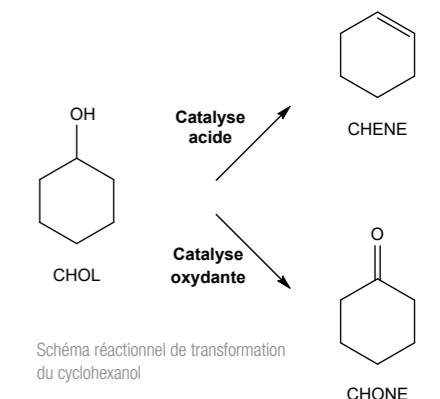


Schéma réactionnel de transformation du cyclohexanol

En mesurant l'activité du catalyseur c'est-à-dire en observant le nombre de molécules transformées par minute et par gramme dans les mêmes conditions expérimentales, une échelle d'acidité des catalyseurs utilisés peut être établie. Plus il transforme vite le diméthylbut-1-ène, plus cela signifie que le catalyseur est acide. Ainsi, cette réaction permet de connaître l'acidité des catalyseurs hétérogènes d'où le terme de réactions modèles.

"... une alternative à l'utilisation des ressources fossiles."

## VERS UNE NOUVELLE RÉACTION MODÈLE

Certains procédés de transformations de la biomasse (matière organique renouvelable) nécessitent une catalyse bifonctionnelle, en clair une transformation en deux étapes, comme par exemple la transformation du fructose en diformylfurane (DFF) qui nécessite une catalyse acide puis une catalyse oxydante. En utilisant le fructose issu de la biomasse, ce procédé est une alternative à l'utilisation des ressources fossiles.

Le DFF est un produit-clé dans la fabrication de nombreux produits de la vie courante (polymère ou matière plastique, produits pharmaceutiques et phytosanitaires). La synthèse directe de DFF à partir de glucides disponibles comme le fructose est une alternative pour réduire son coût de production. En effet, les deux étapes réalisées séparément conduisent à des rendements élevés mais le bilan énergétique n'est pas bon en raison du caractère instable de l'intermédiaire lors de son étape de purification. Par conséquent, le DFF n'est disponible actuellement sur le marché qu'en petite quantité et son coût est très élevé (130 € le gramme). Ainsi, dans le but de réduire le coût du DFF, ces dernières années, sa synthèse à partir de sucres comme le fructose a fait l'objet de nombreuses recherches pour mettre en œuvre sa transformation en « one-pot » (les deux étapes dans le même réacteur sans isoler l'intermédiaire) à des températures modérées (environ 100°C) en adéquation avec les défis sociétaux d'économie d'énergie. À l'IC2MP, cette réaction a été réalisée en phase homogène (ou liquide) avec un bon rendement en DFF ; le catalyseur utilisé, HPMoV, est soluble dans le milieu réactionnel et n'est donc pas réutilisable. Dès lors, de nouvelles formulations de catalyseurs hétérogènes sont étudiées par les chercheurs du domaine.

Le développement de catalyseurs bifonctionnels hétérogènes pour cette réaction pourrait être facilité s'il existait une réaction modèle qui permettrait d'évaluer facilement la balance « caractère acide » versus « caractère oxydant » des matériaux catalytiques. Ainsi, les scientifiques de l'IC2MP cherchent à développer un outil de caractérisation des cata-

lyseurs bifonctionnels. L'étude a été réalisée avec la réaction modèle de transformation du cyclohexanol (CHOL), molécule plus simple et plus facile à mettre en œuvre que le fructose. Cette molécule se transforme par deux voies parallèles grâce un catalyseur bifonctionnel, par catalyse acide en cyclohexène (CHENE), et par catalyse oxydante en cyclohexanone (CHONE). La proportion de l'un par rapport à l'autre permet d'obtenir des informations quant aux caractères bifonctionnels des catalyseurs envisagés et ainsi valider leur utilisation pour la transformation du fructose.

Pour que cette réaction devienne une réaction modèle en phase liquide, il faut que le réactif (CHOL) et les produits (CHENE et CHONE) soient solubles dans le solvant utilisé (ce qui est le cas avec le DMSO, solvant souvent utilisé en chimie organique). De plus, le CHOL doit être réactif. Ce dernier n'étant pas aussi réactif que le fructose, la température de la réaction a dû être augmentée jusqu'à 160 °C avec risque de perte du CHENE qui est le plus volatile (température d'ébullition 83 °C). La réaction est toutefois facile à mettre en œuvre. Enfin, la réaction doit être sélective : elle ne doit former que du CHENE et du CHONE selon les deux voies catalytiques. Par catalyse acide, le produit majoritairement formé est bien le CHENE et une corrélation a pu être établie pour caractériser la force acide des catalyseurs. Malheureusement, par catalyse oxydante, la sélectivité en CHONE, produit attendu, est faible et de nombreux produits de dégradation sont obtenus.

Toutefois les premiers résultats sont encourageants. En effet quand la réaction est réalisée dans les mêmes conditions expérimentales, la réactivité du CHOL et les rendements en CHENE et CHONE sont seulement légèrement inférieurs en présence du catalyseur hétérogène (Ru/H-Beta) par rapport à ceux en présence du catalyseur homogène (HPMoV), la référence à l'IC2MP. Ainsi sur 100 molécules de CHOL au départ plus de 60 se sont converties en CHENE et environ 10 en CHONE avec le catalyseur homogène et ces rendements sont légèrement inférieurs avec le catalyseur hétérogène où 55 ont été converties en CHENE et moins de 10 en CHONE.

À l'avenir, la synthèse de catalyseurs hétérogènes devra être optimisée et les matériaux devront être caractérisés et comparés au catalyseur homogène (HPMoV) pour pouvoir obtenir une corrélation entre leurs activités pour les deux réactions : la transformation du fructose en DFF et la transformation du CHOL, ce qui ouvre des perspectives pour la conversion du carbone renouvelable.

Laurence VIVIER < IC2MP  
laurence.vivier@univ-poitiers.fr

Karine DE OLIVEIRA VIGIER < IC2MP  
karine.vigier@univ-poitiers.fr

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



Quelques échantillons de catalyseurs hétérogènes. Ils sont constitués d'un support souvent blanc sur lequel sont déposés des métaux (cuivre, cobalt, nickel,...), ce qui leur confère de la couleur. Dans le cas du catalyseur noir, celui-ci est composé de carbone plus connu sous le nom de charbon actif.

# À Mayotte, une approche mathématique de la pandémie

L'île de Mayotte, département le plus jeune de France, doit faire face à l'épidémie du Covid sans compter deux autres épidémies signalées. C'est dans ce contexte d'urgence sanitaire que les mathématiciens du Laboratoire Mathématiques et Applications à Poitiers créent des outils de modélisation pour apporter des solutions non pharmaceutiques efficaces.



Loin des panoramas idylliques, Mayotte est sujette à des problématiques d'accès à l'eau et aux soins.

À Mayotte, un habitant sur deux a moins de 18 ans ! Avec une population estimée à 285 000 habitants au 1er janvier 2020, la part des 60 ans ou plus est de 4% contre 25% en métropole. L'île est caractérisée par de faibles densités de professionnels de santé libéraux installés. Le centre hospitalier de Mamoudzou qui concentre presque toutes les principales activités médicales, est saturé tous les jours. De plus, sur l'île, de nombreuses problématiques locales (accès à l'eau, accès aux services de santé, etc) font obstacle au respect des gestes barrière et des mesures de distanciation rendant la situation sanitaire inquiétante. L'île, déjà confrontée depuis le début de la Covid à deux autres épidémies, la grippe et la dengue, a donc de nombreux défis de surveillance épidémiologique à relever. Pour comprendre les tendances de l'évolution de l'épidémie à Mayotte, les chercheurs ont choisi de travailler à partir de données consolidées sur une période de près de 2 ans entre le 13 mars 2020 et le 13 janvier 2022.

Suite à l'émergence du Covid-19 et à sa propagation hors de Chine, l'Europe et maintenant le monde entier subissent de grandes perturbations liées à l'épidémie. En réponse, plusieurs pays ont mis en œuvre des interventions non pharmaceutiques sans précédent : l'isolement des cas d'individus symptomatiques et de leurs contacts, la sécurité des écoles et des universités, l'interdiction des rassemblements de masse et de certains événements, la distanciation sociale à grande échelle, y compris les verrouillages locaux et nationaux des populations via des déplacements internes et externes, sauf essentiels, interdits.

## CONTEXTE ET DESCRIPTION DES DONNÉES

Les enjeux de la modélisation sont déjà présents dans l'histoire occidentale des sciences où l'emploi de modèles mathématiques comme réponse aux problématiques de santé publique y ont été décrits (la grippe, la variole, le paludisme). L'étude de la dynamique épidémique du Covid-19 nécessite de comprendre sa transmission de personne à personne dans le temps, l'âge des infections et bien d'autres facteurs.

## "...explorer différents scénarios d'interventions non pharmaceutiques."

La collaboration entre le Centre Universitaire de Formation et de Recherche et l'Agence Régionale de Santé de Mayotte avec le Laboratoire de Mathématiques et Applications (UMR 7348 – CNRS / Université de Poitiers) s'est faite dans la mise en place d'outils d'analyse de données et de modélisation et plus particulièrement sur les données du Covid-19. Une partie des outils de modélisation vise à calibrer et à apporter une compréhension de la dynamique d'évolution de l'épidémie notamment le nombre de reproductions afin d'explorer différents scénarios d'interventions non pharmaceutiques. Mais qu'en est-il réellement de cet outil et comment fonctionne-t-il ? Le nombre de reproduction de base contribue à l'épidémiologie pour l'estimation de ce paramètre sur cet intervalle de temps basé sur les intervalles de transmission observés et les données d'incidence.

## COMPRENDRE LE DÉVELOPPEMENT ÉPIDÉMIQUE

Bien analyser les phases d'une épidémie est important pour contrôler sa propagation et un des indicateurs qui témoigne de l'ampleur de l'épidémie est le taux de reproduction. Il est historiquement défini comme le nombre moyen de nouveaux cas d'infection générés par un individu au cours de période d'infectiosité. Il est souvent dit « taux de reproduction de base » et noté  $R_0$  en début d'épidémie, et en absence de mesure sanitaire. Comme on le sait, si ce nombre est inférieur à 1 alors l'épidémie aura tendance à s'éteindre. Il existe plusieurs méthodes pour estimer ce paramètre en début d'épidémie et dans le temps. En analysant les données de Mayotte, il a pu être observé un grand nombre de cas au Nord-Est de la capitale Mamoudzou et au Sud-Est, dans des communes où la densité de population est la plus forte.

Afin de simplifier les formalismes mathématiques, il est raisonnable de supposer que l'intervalle de temps entre l'infection, l'apparition des symptômes et la transmission ultérieure n'affectent pas la période d'incubation de l'infecté. Très souvent, comme le temps de génération ne peut pas être observé directement, il est remplacé par l'intervalle sériel. Il peut être obtenu à partir du décalage temporel entre tous les couples (ou binômes) infectés et infecteurs dans une chaîne de transmission ciblée.

Pour résumer, après une infection, l'apparition des symptômes est fortement observée en moyenne au bout de 3 jours mais peut débuter le premier jour de l'infection (faible probabilité) et au bout de 7-12

jours. L'infectiosité peut commencer 2 à 4 jours avant l'apparition des symptômes (fin de la période d'incubation) et peut s'étendre jusqu'à 7 ou 8 jours après l'apparition des symptômes. Ces estimations sont basées sur des méthodes statistiques. Sur la base de ces méthodes, on obtient aussi l'estimation des densités de l'intervalle sériel et du temps de génération.

## L'ÉVOLUTION DU TAUX DE REPRODUCTION

Pour estimer le nombre de reproductions au jour « J », on utilise les données des nombres journaliers de cas observés et du temps de génération. Les mathématiciens calculent alors le nombre de reproductions de base par le ratio de l'incidence du jour, par les incidences des jours précédents pondérés rétrospectivement par leur temps de génération, ce dernier s'expliquant par la contribution relative de chaque jour post-infection au potentiel total de contagiosité sur toute la durée infectieuse.

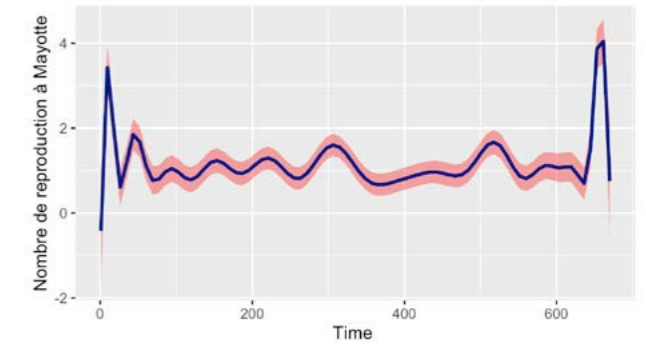
Notons  $\Gamma(t)$  le nombre de nouveaux cas à l'instant  $t$  et  $g$  le temps de génération. Soit  $T$  un temps d'horizon fini.

$$R_0(t) = \frac{\Gamma(t)}{\sum_{0 \leq \tau \leq T} g(\tau) \Gamma(t - \tau)}$$

Cette formulation mathématique basée sur une approche dite non paramétrique permet de mettre en place une procédure algorithmique.

Il faut noter une autre lecture remarquable sur le taux de reproduction permettant d'estimer la cinétique de l'épidémie sous certaines hypothèses. En effet, sous une durée de contagiosité constante, on exprime le taux de reproduction de base en fonction du temps de doublement des cas sous la forme  $(R-1)T = D \ln(2)$ .

Au début de l'épidémie à Mayotte, le taux de reproduction était compris entre 3 et 4 montrant que l'épidémie s'installait et qu'un individu infecté pouvait contaminer entre 3 et 4 personnes. Les mesures de confinement en France et appliquées aussi à Mayotte à partir du 17 mars ont permis de faire baisser cet indicateur en dessous de 1, un mois plus tard à la mi-avril 2020 montrant le recul temporaire de l'épidémie durant cette période. Une autre augmentation des cas s'est fait ressentir à la sortie du confinement en mai 2020, ce qui a amené les autorités et l'ARS de Mayotte à sonner l'alerte et à mettre en place d'autres mesures d'intervention non pharmaceutiques comme l'instauration des couvre-feux, le port du masque obligatoire dans les espaces publics. Le taux de reproduction permettait ainsi d'analyser la situation épidémique locale mais pas uniquement. En effet, les valeurs du taux de reproduction ne doivent pas être interprétées de façon isolée mais analysées en parallèle avec les autres indicateurs épidémiologiques importants notamment les tensions en hospitalisation et en réanimation. Comme on peut le voir,



Évolution du nombre de reproduction à Mayotte

un pic élevé du taux de reproduction est observé en fin d'année 2021 et début d'année 2022, ce qui a justifié les décisions des autorités locales d'instaurer un couvre-feu pendant les week-end de 20h à 5h le lendemain matin. Les commerces ont été soumis à des mesures de restrictions de jauges à 50% de l'effectif théorique et le respect des quatre mètres carrés de distanciation : la vague Omicron secouait ainsi Mayotte en ce début d'année.

Sur la base de ces estimations du taux de reproduction, les chercheurs peuvent mettre en place des modèles mathématiques pour explorer davantage des évolutions prédictives de la courbe épidémique en fonction des scénarios d'interventions (non) pharmaceutiques. La mise en place de tels modèles (déterministes ou stochastiques) et l'estimation des paramètres dans ces modèles sont étudiées aujourd'hui dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire de Mathématiques et Applications au travers des actions de recherche impliquant des stages et d'éventuelles thèses à l'avenir. À l'avenir, cette collaboration permettra de mettre en place des modèles mathématiques adaptées théoriques et pratiques importants pour la surveillance épidémiologique et l'évaluation de scénarios. Les périodes de vague épidémiques à Mayotte n'étant pas les mêmes avec la France métropolitaine, toutes ces actions de recherche concernant la mise en place d'indicateurs et de modèles de surveillance épidémiologiques prennent tout leur sens.

Les décès observés à Mayotte ne sont pas comparables aux autres départements de métropole. La jeunesse de la population mahoraise l'a-t-elle épargnée des scénarios catastrophiques craints au début de l'épidémie ? Les mutations du virus sont-elles moins létales à Mayotte ? Ces deux questions laissent à penser que le défi de la modélisation est encore à venir en termes de réponse ou de solution à la crise Covid.

Solym MANOU-ABI < CUFR de Mayotte, IMAG, LMA  
solym.manou-abi@univ-mayotte.fr

Yousri SLAOUI < LMA  
yousri.slaoui@univ-poitiers.fr

Julien BALICCHI < ARS de Mayotte  
julien.balicchi@ars.sante.fr

<http://rech-math.sp2mi.univ-poitiers.fr/>

### QUELQUES DÉFINITIONS DE BASE SUR LE PROCESSUS DE TRANSMISSION

Considérons un infectant  $i$  et un infecté  $j$ .

L'intervalle de temps de génération  $G(i,j)$  est l'intervalle de temps entre l'infection de  $i$  et l'infection de  $j$ .

L'intervalle sériel  $S(i,j)$  est l'intervalle de temps entre l'apparition des symptômes de l'infecteur  $i$  et apparition des symptômes chez l'infecté  $j$ .

La période d'incubation  $E(i,j)$  de l'infecté  $j$  est le temps passé entre le moment où l'infecté  $j$  est infecté par son infecteur et le moment où il pourrait voir ses symptômes.

Le profil d'infectiosité  $P(i,j)$  est l'intervalle de temps depuis l'apparition des symptômes de  $i$  à l'infection de  $j$ .

## Les géopolymères : le défi d'une résistance à haute température sur des pièces de grande dimension

Les matériaux de type géopolymère reconnus pour leur résistance à la chaleur, présentent toutefois des fissures à haute température. C'est à travers la valorisation d'un brevet et l'optimisation de la composition du géopolymère que des équipes des laboratoires Pprime et Ircer ont travaillé à son amélioration.



Différents volumes de pièces ont été élaborés. La pièce de 200 cm<sup>3</sup> au premier plan a été multipliée par 4, 50 et 120.

Les échantillons de géopolymères sont élaborés à température ambiante à partir d'un liquide de type solution alcaline (pH = 13) et d'une source minérale aluminosilicatée, généralement le métakaolin. D'autres produits peuvent également entrer dans la composition, telles que des terres excavées. Ils peuvent participer à la réaction de formation du géopolymère, ou bien jouer un rôle de charge.

Ces matériaux présentent de nombreux avantages. Ils sont peu énergivores (contrairement à un ciment) et non-polluants. De plus, ils possèdent des résistances mécaniques et thermiques élevées, stables dans le temps. Des études sur l'augmentation des propriétés mécaniques après 1000°C ont été menées, en collaboration avec l'ANDRA (agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) dans le cadre du PIA INIFUGE.

Le projet INIFUGE vise en particulier à valoriser les argillites du Callovo-Oxfordien, provenant du site prévu pour accueillir le futur stockage profond de colis contenant des déchets nucléaires Cigéo. Les argillites proviennent d'une couche géologique située à environ 500 m sous le niveau du sol dans l'est du bassin parisien à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne. Cette couche date de 140 à 160 millions d'années. Ces argillites sont composées de nombreux minéraux, dont une fraction importante d'argiles. Si la création de ce stockage est autorisée, son exploitation va générer l'excavation de millions de tonnes d'argillite qu'il serait possible de valoriser au sein des installations du centre de stockage profond.

De nombreux travaux ont été menés sur la valorisation des argillites dans les liants géopolymères, notamment pour la formulation d'un coulis d'in-

jection à l'interface ouvrages/milieu géologique, mais aussi dans un autre objectif d'une augmentation des propriétés mécaniques à haute température pour la réalisation de pièces préfabriquées. À l'issue de cette étude, un brevet a été déposé sur une formulation qui possède des propriétés mécaniques qui augmentent en température. La suite du projet s'est concentrée sur la valorisation de ce brevet en améliorant la composition et en effectuant un transfert d'échelle. Ces pièces préfabriquées pourraient être utilisées pour Cigéo.

### UNE RÉSISTANCE THERMIQUE DE 1000 À 1300°C

À partir de la composition de référence, de nombreux changements ont été effectués, notamment avec l'ajout de charges afin d'améliorer les propriétés.

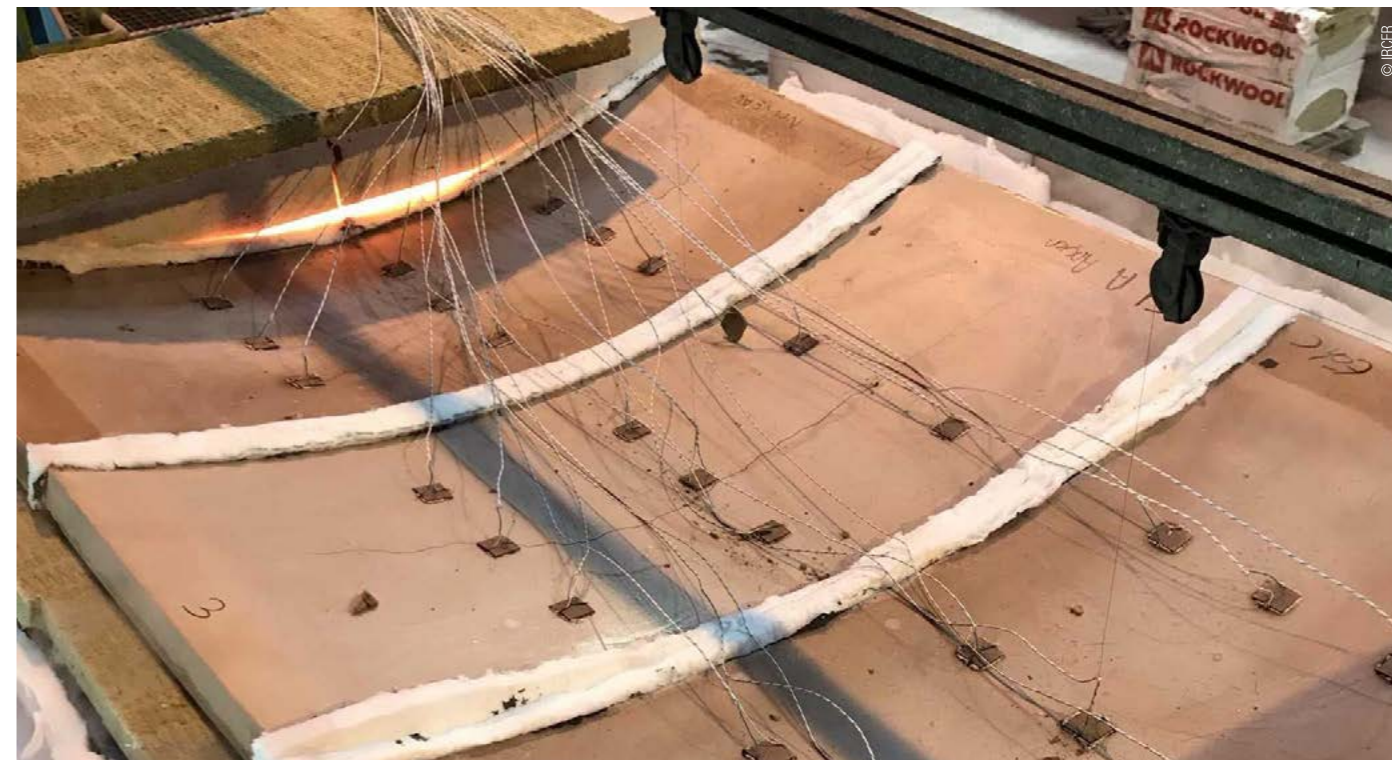
Les charges à base de minéraux argileux jouent un rôle important dans les propriétés des matériaux. En effet, certains améliorent les propriétés mécaniques, d'autres confèrent une viscosité au mélange pour une meilleure projection ou extrusion du matériau selon le procédé d'application choisi. Les ajouts peuvent être de différentes forme et nature, tels que du sable, des fibres minérales. Selon les propriétés souhaitées et le procédé de mise en forme, il est possible de trouver le ou les additifs qui permettent d'aboutir aux résultats.

### "...une augmentation significative des propriétés mécaniques."

Pour cette étude, les ajouts jouent un rôle important dans la tenue thermique à 1300°C et la stabilité de la pièce en température, avec une augmentation significative des propriétés mécaniques. En effet, les ajouts vont permettre d'éviter l'apparition de fissures et la détérioration complète du matériau. Après le traitement thermique, les différentes formulations préparées changent de couleur, allant du rouge au gris. Les phénomènes observables sont dus aux transformations chimiques qui s'opèrent au sein du matériau lors du traitement en température.



Aspect des échantillons 2x10cm<sup>2</sup>, d'une excellente tenue après un traitement à 1300°C



Résultat du test après 120 minutes à 1000 °C par la société Efectis.

Après la validation de différentes formulations par l'Institut de Recherche sur les Céramiques (IRCER – UMR7315 CNRS/Université de Limoges), un test thermique à grande échelle a été réalisé, en partenariat avec l'Institut Pprime à Poitiers. Le principe de l'essai repose sur l'exposition d'une face d'un échantillon sous forme d'une plaque, à la chaleur d'un panneau radiant. Cet essai permet à la fois, de visualiser en direct le comportement mécanique et physique de l'échantillon. Pour cela, l'échantillon est positionné verticalement en face d'un panneau radiant générant la sollicitation thermique afin d'avoir un éclairage énergétique uniforme sur toute sa surface. Le porte échantillon est monté sur un rail de guidage linéaire, afin de pouvoir régler la distance échantillon / panneau souhaitée de façon précise. Le panneau radiant est réglé à la puissance souhaitée pour atteindre une température d'exposition entre 500 °C et 1000 °C. Lorsque l'équilibre thermique du panneau radiant est atteint, l'échantillon est déplacé et positionné face à ce panneau. Au cours de l'essai, il est possible de mesurer le délai d'inflammation, la perte de masse, la vitesse de perte de masse et les champs de température.

Cet essai a permis la validation des différentes formulations. D'autres se sont avérés non concluants conduisant à écarter des compositions ne résistant pas à ce test.

### VERS DES PIÈCES DE GRANDES DIMENSIONS

Pour valider les tests effectués à petite échelle, un transfert d'échelle (up-scaling) est nécessaire. Il s'agit de vérifier si la géométrie des pièces et en particulier leur taille, influe sur le processus de maintien des propriétés mécaniques sous forte sollicitation thermique. Pour ce faire, différents volumes de pièces ont été élaborés. Le volume initial de 200 cm<sup>3</sup> a été multiplié par 4, 12, 50 et 120 pour obtenir des plaques de tailles de plus en plus grandes. Pour réaliser ces pièces, une adaptation du procédé de fabrication est nécessaire en particulier en raison du volume de matériau à préparer en une seule étape (1.20x0.5 x0.04 m<sup>3</sup>).

### DES TESTS TECHNIQUES POUR CONFIRMER LES PERFORMANCES

Le dernier critère de validation est la réalisation à grande échelle d'essais de comportement au feu de plaques de différentes dimensions. Ces tests sont réalisés en collaboration avec l'entreprise Efectis. L'expérience s'appuie sur la réalisation de trois essais visant à observer et à quantifier le transfert de chaleur, l'apparition de fissures, le retrait et la résistance thermo-mécanique des pièces. La première étape permet la validation des formulations, pour une dimension d'échantillon de 500x500 mm<sup>2</sup>. Les plaques sont placées de façon horizontale au-dessus d'un four, dans un cadre en béton réfractaire munie d'une ouverture à la taille de l'échantillon. Chaque échantillon est équipé de cinq thermocouples afin de suivre au mieux le transfert de chaleur au sein de chaque échantillon. Les premiers résultats montrent une excellente tenue. Le matériau ne présente pas de fissures et réduit le transfert de chaleur. En effet, les thermocouples ont enregistré une température de 400°C sur la surface non exposée lorsque le four était à 1000°C.

Le test à 1000 °C confirme la stabilité de cette formulation et laisse envisager l'usage de ces matériaux en tant que protection et résistance au feu dans les domaines de l'énergie et de l'habitat.

Ce projet est soutenu par l'Andra dans le cadre du programme Investissements d'avenir et par l'Agence Aliénor Transfert et la région Nouvelle-Aquitaine, sous le contrat de INIFUGE.

Sylvie ROSSIGNOL < IRCER  
sylvie.rossignol@unilim.fr

Ameni GHARZOUNI < IRCER  
ameni.gharzouni@unilim.fr

Lila OUAMARA < IRCER  
lila.ouamara@unilim.fr

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

<https://pprime.fr/>



## X-SELANS : vers de nouvelles technologies d'antennes actives et de stations de réception

Accélérer l'innovation dans le domaine des antennes actives pour les stations sol qui permettent de recevoir les signaux émis par les satellites ou émettre un signal vers le satellite est un enjeu d'avenir crucial.



Vue d'une partie d'un réseau de 256 éléments rayonnants pour effectuer des dépointages de +/-70° en élévation.

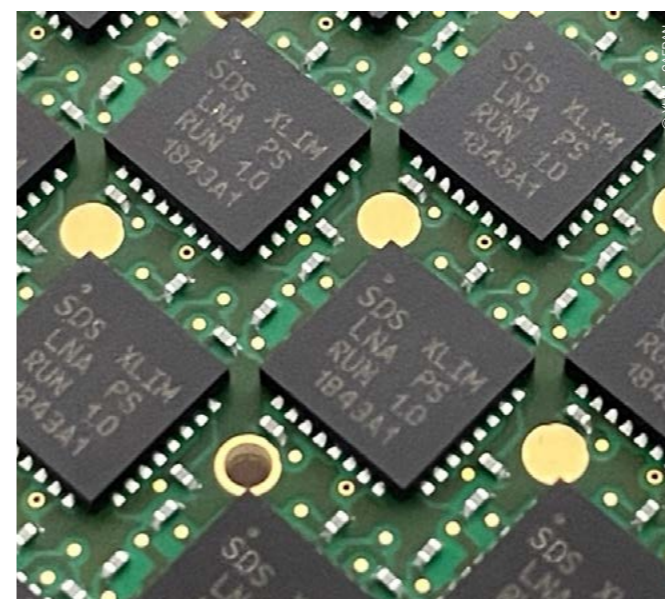
Les antennes actives intègrent des composants électroniques pour un traitement du signal en temps réel. Elles sont une solution centrale pour le futur dans de nombreux secteurs tels que l'aéronautique, le spatial et les télécommunications. C'est dans cet objectif que le laboratoire commun X-SELANS (Xlim-Safran Electronics Lab for ANtennaS), regroupant les équipes de l'Institut XLIM (UMR7252 CNRS/Université de Limoges/Université de Poitiers) et de Safran Data Systems, avec le soutien de l'ANR, a été créé. X-SELANS vise à mettre au point différents composants ou équipements hyperfréquences. Les architectures et performances reposent sur les compétences des différents métiers des micro-ondes, en particulier pour les antennes, les techniques de déphasage, les amplificateurs de puissance et les amplificateurs à faible bruit.

### UNE NOUVELLE GÉNÉRATION PLUS COMPACTE

Les travaux se concentrent principalement sur les architectures d'antennes actives pour stations sol et aéronautique. Les stations sol sont classiquement constituées de grandes antennes à réflecteurs motorisées pour pouvoir suivre un satellite. Pour certaines missions, comme celles liées à l'observation de la Terre, il est intéressant de bénéficier de solutions plus compactes et plus faciles à installer.

Dans ce contexte, les antennes actives, qui sont majoritairement planes et associées à une électronique de commande pour dépointier le diagramme de rayonnement de l'antenne, ont un fort potentiel. Néanmoins, il existe aujourd'hui plusieurs freins à leur déploiement dans des solutions industrielles. Les architectures existantes sont souvent limitées au niveau du balayage en élévation, car des phénomènes physiques liés à la façon de concevoir ces panneaux rayonnants viennent dégrader l'adaptation du système pour des pointages typiquement supérieurs à 60°. Il en résulte des baisses de performances des front-end RF associés aux antennes, qui impactent les consommations et dans certains cas, peuvent remettre en cause la mission. Pour lever ces verrous, les partenaires mettent au point des architectures pensées globalement, qui se penchent à la fois sur l'évolution nécessaire des éléments rayonnants et des circuits intégrés associés.

Pour cela, les techniques de modélisation, au niveau composants, électromagnétique et système constituent la colonne vertébrale des travaux. En s'appuyant sur des modélisations précises des différents éléments, et en travaillant sur leurs interfaces de raccordement, il devient possible de maîtriser et d'optimiser des systèmes complexes. Les modélisations



Exemple de circuit intégré en réception (LNA/déphaseur).

combinent notamment des approches électromagnétiques classiques et des modèles comportementaux, le plus souvent extraits de mesures, à des outils développés au sein du laboratoire XLIM.

"... faire émerger de nouvelles architectures d'antennes..."

### SUIVRE PLUSIEURS SATELLITES SIMULTANÉMENT

Un autre enjeu important de ces applications est l'hybridation entre les technologies du numérique et de l'analogique, indispensables pour atteindre les performances voulues et créer de nouvelles fonctionnalités comme les liaisons multicontacts, pour suivre plusieurs satellites en même temps. L'émergence du « New Space », avec l'apparition de méga-constellations de satellites défilants à orbites basses dans le domaine des télécommunications spatiales, impose de nouvelles contraintes que les antennes à réflecteurs paraboliques ne peuvent pas

assurer. Par exemple, la fonction multi-cibles sur plusieurs satellites défilants ne peut pas être réalisée sans mettre plusieurs antennes paraboliques sur un même site, ce qui occasionne un coût d'acquisition prohibitif. Ce verrou est surmonté par l'utilisation d'antennes réseaux planes à balayage électronique multifaisceaux. Cette possibilité, offerte par les architectures d'antennes actives, est une opportunité importante pour Safran Data Systems.

### DES CIRCUITS INNOVANTS À FAIBLE BRUIT

Pour compléter ces travaux de modélisation et de conception qui permettent de faire émerger de nouvelles architectures d'antennes, des actions sont aussi menées sur les technologies de circuits, de façon à évaluer les performances de l'existant, définir des briques fonctionnelles à concevoir pour atteindre des performances ambitieuses, tout en gardant à l'esprit le réalisme économique des solutions à produire. Dans ce contexte, il s'agit d'investiguer les différentes voies technologiques possibles pour réaliser des circuits déphaseurs, mélangeurs, amplificateurs de puissance et amplificateurs à faible bruit.

### DES COMPÉTENCES ET RESSOURCES MUTUALISÉES

Les travaux couverts par les partenaires s'étendent notamment de la bande de fréquence S jusqu'à la bande Ka. Les partenaires mettent à profit le laboratoire commun pour mutualiser des compétences et des ressources, notamment au niveau expérimental, avec par exemple la plate-forme technologique PLATINOM du laboratoire XLIM, qui permet de couvrir des problématiques de mesures de circuits, d'antennes, mais aussi d'extraction de modèles. X-SELANS permet également l'implication de plusieurs doctorants et post-doctorants, qui sont au cœur des travaux de recherche, et qui participent à la valorisation des travaux.

Cyrille MENUJER < XLIM  
cyrille.menujier@xlim.fr

Alain KARAS < SAFRAN  
alain.karas@safrangroup.com

<https://www.xlim.fr>



Le 9 novembre 2021, X-SELANS a été inauguré en présence de Jean-Marie Bétermier, Directeur Espace de Safran Electronics & Defense et Président de Safran Data Systems, Isabelle Klock-Fontanille, Présidente de l'université de Limoges, Laurent Nicolas, Directeur adjoint scientifique de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS et de Pierre de Souffron, Coordinateur du programme LabCom de l'Agence nationale de la recherche.

Un LabCom réunit un laboratoire d'un organisme ou d'un établissement public de recherche et une entreprise. Doté d'une gouvernance commune, un LabCom se caractérise par une feuille de route des activités de recherche et d'innovation à mener, par la mise en commun de moyens et compétences pour opérer ce programme, par un cadre de collaboration stable et un fonctionnement intégré des équipes académiques et industrielles, par une stratégie commune de valorisation des travaux, par un accord prédéfini de partage de la propriété intellectuelle, et par une stratégie de pérennité de la collaboration au-delà du financement initial.

Lauréat de l'appel à projet LabCom en décembre 2019, X-SELANS est prévu pour une durée de 54 mois et mobilise plus d'une dizaine de chercheurs, ingénieurs, doctorants et stagiaires au sein de ses trois partenaires (Safran Data Systems, l'Université de Limoges et le CNRS). X-SELANS pérennise un partenariat entre Safran et XLIM initié par des thèses CIFRE en 2014.

# Comètes et catastrophes naturelles au Moyen Âge

Les hommes du Moyen Âge associaient le passage d'une comète à la survenue de catastrophes naturelles ou d'événements funestes. Pour comprendre ce lien, il faut replacer la perception des comètes dans les catégories de pensée médiévales.

À l'époque de Charlemagne et de ses successeurs, ce sont les clercs qui enregistrent le passage de comètes, notamment dans les annales. Ces textes consignent les principaux événements survenus année par année, sous la forme de courtes notices. Observations de comètes mais aussi d'autres phénomènes célestes (foudre, éclipses de lune ou de soleil, lueurs rouges dans le ciel, etc.) y figurent en bonne place à côté des grands événements politiques et militaires. Leur description peut être assez précise, mentionnant la date à laquelle le phénomène a pu être observé, son aspect (taille, luminosité) et la zone du ciel dans laquelle il est apparu. L'auteur des annales de Fulda, rédigées à Mayence, rapporte qu'en 839 : « [...] une comète apparut dans le signe du Bélier et on vit d'autres présages dans le ciel. En effet, le ciel sans nuages vira au rouge à la nuit ; et durant plusieurs nuits on vit de nombreuses petites boules de feu telles des étoiles fuser dans les airs ». D'autres notices sont au contraire très succinctes, comme celle de l'année 867 dans les annales de Niederaltaich, qui se contente de mentionner : « comète, famine et peste », c'est-à-dire épidémie.

Comme le montrent ces deux exemples, les auteurs d'annales associent très fréquemment les comètes à d'autres phénomènes célestes ainsi qu'à des événements qui seraient qualifiés aujourd'hui de catastrophes naturelles ou sanitaires : tempêtes, inondations, tremblements de terre, éruptions volcaniques, épisodes de froid ou de sécheresse extrêmes, mais aussi invasions d'insectes, épidémies ou famines.



Enluminure figurant une série de catastrophes naturelles et autres prodiges liés au passage de deux comètes observées en 1456. Tirée d'un manuscrit de 1513 de la chronique de Diebold Schilling de Lucerne, qui raconte l'histoire de la confédération suisse, elle montre qu'à la toute fin du Moyen Âge, les comètes étaient encore interprétées comme des présages funestes. Luzern, Korporation Luzern : Luzerner Schilling, fol. 61 v.

## LES COMÈTES : DES PRÉSAGES

On pourrait s'étonner de l'existence d'un lien cognitif étroit entre des phénomènes astronomiques sans danger, des phénomènes géomorphologiques, volcaniques et météorologiques destructeurs, et des épisodes d'épidémies ou de famines. Mais dans les catégories de pensée médiévales, ce qui est compris aujourd'hui comme des catastrophes n'était pas pensé comme tel. Le mot « catastrophe » n'existe d'ailleurs pas dans les langues européennes avant le 16<sup>e</sup> siècle, pas plus que la notion de désastre. Les hommes du Moyen Âge faisaient sens des manifestations ou de la colère de la nature selon d'autres catégories, héritées du savoir antique et de la Bible, les deux fondements de la pensée médiévale. Ce sont ces savoirs anciens qui déterminent la manière dont les événements naturels étaient perçus et interprétés par les témoins médiévaux. Dans la lignée du savoir divinatoire antique et des conceptions bibliques, c'est à partir de la notion de prodige et non de catastrophe que s'établit au Moyen Âge une cohérence conceptuelle entre les différents types de phénomènes naturels rapportés par les annalistes et les chroniqueurs.

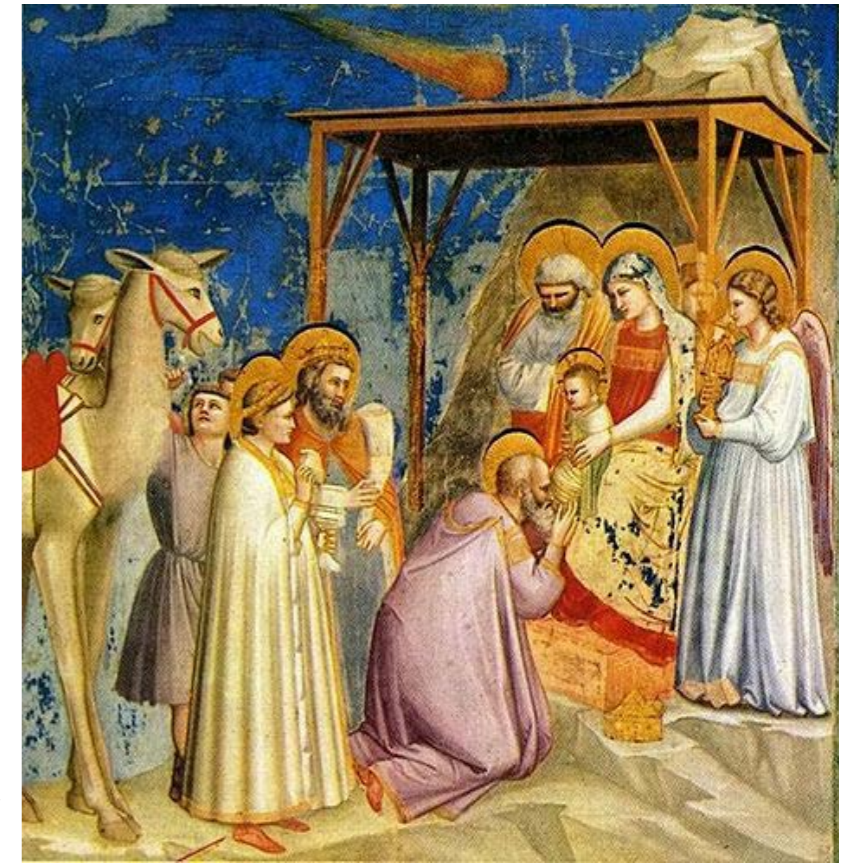
## "... comme des présages annonciateurs d'un événement capital..."

Dans l'antiquité romaine, le prodige renvoyait à un phénomène extraordinaire déclenché par les dieux pour manifester aux hommes leur volonté ou leur colère. Il pouvait être le signe d'un avertissement ou d'une menace aussi bien que d'une approbation. Dans la pensée chrétienne, le prodige conserve la dimension de phénomène extraordinaire et de manifestation de la volonté divine, mais dans un double sens : celui de merveille de Dieu, voire de miracle, et celui d'expression de la colère divine. Il est également conçu comme révélateur du plan divin, et en ce sens un prodige peut aussi être un présage. C'est particulièrement le cas des comètes qui étaient perçues au Moyen Âge comme des présages annonciateurs d'un événement capital ou de bouleversements politiques et sociaux.

On en trouve trace dans les textes comme dans les représentations figurées. Une des scènes de la broderie de Bayeux représente ainsi la comète de Halley, visible tous les 75 ans dans le ciel terrestre. Son passage au printemps 1066 fut interprété par plusieurs chroniqueurs contemporains, comme dans la broderie, comme annonciateur de la conquête de l'Angleterre par Guillaume le Conquérant quelques mois plus tard. Au début du 14<sup>e</sup> s., la comète de Halley reparait sur la scène d'adoration des mages peinte par Giotto sur les murs de la chapelle Scrovegni de Padoue. Le peintre choisit d'y représenter l'étoile de la nativité, annonciatrice de la naissance de Jésus aux rois mages, sous les traits de la comète qu'il avait lui-même probablement observée dans le ciel italien durant l'été 1301. Présage ici d'un événement heureux, les comètes étaient toutefois plus souvent interprétées comme annonciatrices d'événements funestes : mort de certains grands personnages ou survenue de calamités naturelles, de guerres, de défaites ou de famines.



Un groupe de six hommes observe la comète à l'extérieur du palais royal en la désignant du doigt, comme le précise la légende : *ISTI MIRANT STELLA* (ceux-ci admirent l'étoile). La scène 32 de la célèbre tapisserie de Bayeux, confectionnée au 11<sup>e</sup> s., figure la comète de Halley visible durant plusieurs jours en avril 1066. Le point de vue adopté est celui des Anglais, pour qui elle représente donc un présage funeste puisqu'elle annonce l'invasion à venir de l'Angleterre par Guillaume le Conquérant et sa victoire sur le roi Harold, en septembre-octobre 1066. Tapisserie de Bayeux, scène 32, Bayeux Museum.



Chef d'œuvre de l'art médiéval, la fresque de l'Adoration des mages peinte par Giotto entre 1303 et 1305 dans la chapelle des Scrovegni à Padoue figure l'étoile de la nativité, annonciatrice de la naissance de Jésus, sous les traits de la comète de Halley, qui avait pu être observée en 1301 dans le ciel italien. Giotto, L'Adoration des mages, 1303-1305, fresque, 200x185cm, Padoue, Chapelle Scrovegni.

## LE REFLET DES OPINIONS POLITIQUES DES MILIEUX ÉCRIVANTS ?

Si les clercs lettrés cherchent à recueillir les événements naturels extraordinaires c'est donc avant tout parce qu'ils sont susceptibles de révéler aux hommes la volonté ou la colère divine. Les calamités naturelles en tous genres, comme les phénomènes célestes qui les précèdent, tendent en effet à être interprétées comme un châtement divin : des tribulations imposées aux hommes pour prix de leurs péchés. Or, prendre acte de la colère de Dieu c'est aussi être en mesure d'essayer de la conjurer, par des prières ou des processions, qui sont au Moyen Âge la première des réactions politiques apportées à la catastrophe.

Une autre idée se fait également jour à l'époque carolingienne, selon laquelle les catastrophes naturelles seraient le résultat direct d'un défaut de droiture du roi et d'un mauvais gouvernement. Un lien direct est alors établi entre comportement royal et équilibre du cosmos. L'émergence de cette idée, probablement importée d'Irlande, explique sans doute le choix fait par les annalistes et les chroniqueurs de consigner certains événements naturels plutôt que d'autres. En effet, ces derniers ne rapportent pas de façon systématique tous les événements qui pourraient être perçus comme hors-normes ou extrêmes. Ils se livrent au contraire à un tri qui doit probablement être interprété par l'historien comme le reflet des jugements qu'ils portaient sur l'action royale, l'accumulation de mentions d'événements naturels dans certaines phases signalant peut-être une perte de confiance dans la personne du roi

ou de l'empereur. Plus qu'un simple enregistrement des malheurs du temps, la mention de comètes, d'éclipses, de tremblements de terres ou de famines relève donc aussi d'une construction et d'une instrumentalisation et elle peut être lue comme le reflet d'opinions éthico-morales et politiques des milieux écrivains.

La redécouverte de pans entiers du savoir antique à partir du 12<sup>e</sup> s., en particulier des *Météorologiques* d'Aristote et des textes de Plinius l'Ancien permit aux savants du second Moyen Âge de proposer d'autres explications, physiques, aux phénomènes célestes. Mais elle ne fit pas disparaître pour autant l'association entre comètes et catastrophes, ni leur interprétation comme des présages. Ce n'est qu'à l'époque des Lumières, avec les travaux de Pierre Bayle notamment, que le lien entre apparitions célestes et destinées humaines fut remis en question et que les comètes furent ramenées au rang de simples phénomènes astronomiques. Elles n'en continuent pas moins de susciter des fantasmes dans la culture populaire.

Émilie KURDZIEL < CESC  
emilie.kurdziel@univ-poitiers.fr

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

# La biodiversité dans l'objectif



© Bertrand MUFFAT-JOLY



© Marc OLLIVIER



2<sup>ème</sup> concours photo du CEBC  
2021

ouvert au grand public et aux chercheurs.  
Le thème de cette 2<sup>ème</sup> édition était la biodiversité avec 3 catégories (biodiversité locale, insolite, dans la recherche).

333 participants  
1038 photos proposées  
435 photos pré-sélectionnées



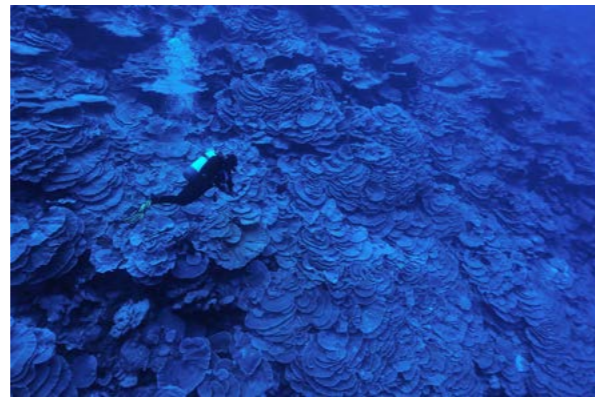
© Enora THIOU



© Steve GIRAULT



© Violaine DOLFO



© Frédéric ZUBERER



© Joris LABORIE



© Anne HAGUEVAUER

Les 19 photos lauréates sont publiées sur le site du CEBC et seront exposées prochainement à Zoodyssée.

Pour les découvrir  
<https://www.cebc.cnrs.fr/concours-photo/>

septembre Chizé

# Visites insolites



Dans le cadre de la Fête de la Science 2021 et pour la deuxième année consécutive, le CNRS a ouvert les portes de ses laboratoires, observatoires, plateformes scientifiques et sites de recherche en France métropolitaine. Les Visites insolites ont permis à plus de 1 000 personnes de plonger au cœur de la recherche et de découvrir des installations ou expériences exceptionnelles, en tête à tête avec les scientifiques.



© LPCZE



© GREMAN

31 visites ont eu lieu dans des laboratoires de la circonscription, à Orléans, Tours, Bourges, Poitiers et Limoges. Ce sont près de 130 visiteurs qui ont pu franchir les portes de nos laboratoires.

1<sup>er</sup> au 11 octobre Orléans, Tours, Bourges, Poitiers, Limoges

# ...et de 60 !



© Linda JEFFRAULT - CNRS



© Linda JEFFRAULT - CNRS

Fondé à Tours en 1961, l'IRBI – Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte – a célébré ses 60 ans, l'occasion de réunir ses personnels qui ont contribué et contribuent encore à sa renommée, de dévoiler sa vidéo « Une odyssée entomologique » et pour la première fois l'exposition « Les Sciences'Elles »

Pour lire la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=nnr3lqW80gQ>

15 octobre Tours

## Talents CNRS



© Florence Royer - CNRS



© Thibault Domiceni - CNRS

Les 9 et 30 novembre ont eu lieu les cérémonies des Talents CNRS avec 6 remises de médailles de Cristal et de Bronze 2020 et 2021 à **Laure Huitema**, physicienne à XLIM (Limoges) et à (de gauche à droite) **Thomas Rochette-Castel** de la Délégation régionale, **Tjarda Roberts** du LPC2E, **Cécile Genevois & Élodie Salager** du CEMHTI et **Sédina Tsikata** d'ICARE. D'autres Talents ont été lauréats 2021 de Médailles de Cristal collectif : **Marine Durand**, de la Délégation régionale, avec la Cellule FESI, **l'équipe technique de programme de recherche NANOPLAST** à Pprime (Poitiers), **Henri Massias** d'XLIM (Limoges) et **Romain Théron** de l'IDP (Orléans), avec PLM. En raison de la crise sanitaire, les cérémonies ont été décalées.

Pour en savoir plus : <https://www.cnrs.fr/fr/talent/index>

9 et 30 novembre

Limoges et Orléans

## Insectes... inspirants



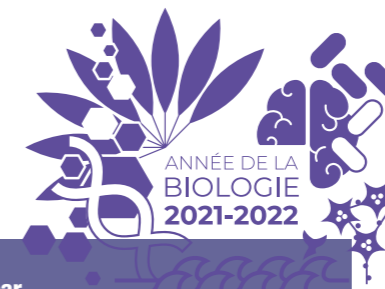
© Florence Royer - CNRS

110 scientifiques et industriels, en présentiel et en distanciel, se sont réunis pour le lancement d'une filière industrielle sur l'entomologie en Centre Val de Loire. Les insectes sont une formidable opportunité pour développer ou diversifier les activités industrielles et agricoles, de façon durable : l'alimentation du futur, les molécules et procédés innovants pour la santé et la cosmétique, les solutions éco-responsables pour l'agriculture et la sylviculture, le biomimétisme ou les technologies inspirées du vivant...et bien d'autres encore ! 4 laboratoires académiques sont mobilisés : IRBI (CNRS/ Université de Tours), LBLGC (Université d'Orléans), EFNO (INRAE – Nogent sur Vernisson), URZF (INRAE – Ardon).

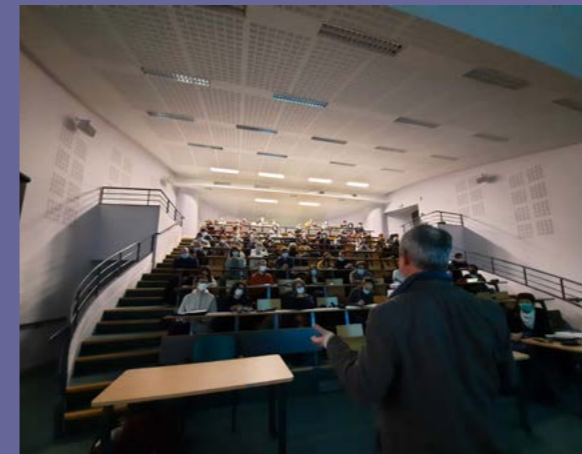
26 janvier

Orléans

## L'année de :



Cette opération lancée par le CNRS et le Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports vise à rapprocher les mondes de l'enseignement et de la recherche pour mettre en lumière les grandes avancées et les enjeux de la recherche en biologie.



© Miléna Vérot - CNRS

À Poitiers, 70 enseignants du 2<sup>nd</sup> degré en sciences et technologies du vivant, de la santé et de la Terre ont suivi une journée de formation à la culture scientifique animée par les laboratoires poitevins sous forme de conférences et d'ateliers. Des journées auront également lieu à Orléans et à Limoges au courant de l'année 2022.

7 décembre

Poitiers



© Miléna Vérot - CNRS

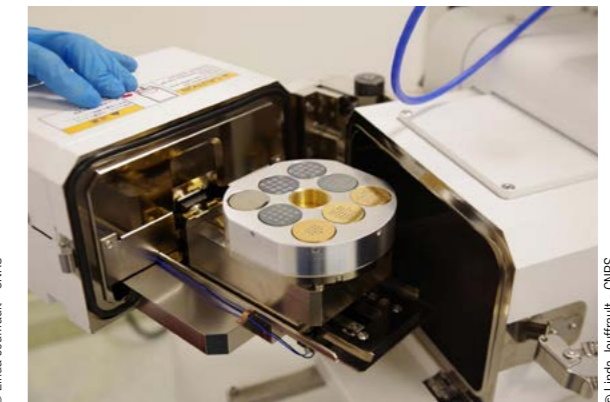


© Miléna Vérot - CNRS

## Macle : une nouvelle plateforme



© Linda Jeuffraut - CNRS



© Linda Jeuffraut - CNRS

Implantée sur le campus CNRS depuis fin 2021, la **Plateforme MACLE-CVL** regroupe aujourd'hui un parc d'instruments de dernière génération d'une valeur de près de 5,5 M d'€. À destination des chercheurs et des industriels de la région Centre-Val de Loire, ils permettront par exemple l'observation de multimatériaux en conditions extrêmes de pression ou de température afin d'en identifier les propriétés physiques qui les rendent si particuliers.

décembre

Orléans



# à venir...

## Colloques

### J2C

Journées Jeunes Chercheurs : l'opportunité donnée aux doctorants, post-doctorants de se rencontrer et d'échanger sur différentes thématiques scientifiques.

<https://j2c.sciencesconf.org/>

28-29 mars

Orléans

### DEEPTeCH TOUR

Chercheurs, doctorants, étudiants, du labo à la startup, découvrez comment vous lancer !

<https://bit.ly/3uD2iLF>

31 mars

Tours

### PlaCEP 2022

1<sup>er</sup> workshop international sur les procédés de cryogravure par plasma.

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

16-22 mai

Orléans

### MERCURY 2022

La conférence "Mercury 2022 : current and future science of the innermost planet" abordera l'état actuel des connaissances et les perspectives pour les projets futurs de la planète Mercure.

[https://mercury2020.ias.u-psud.fr/main\\_1st.php](https://mercury2020.ias.u-psud.fr/main_1st.php)

7-10 juin

Orléans

### ÉCOLE D'ÉTÉ DE CHIMIE

École d'été de Chimie sur les éléments du Bloc F. Au programme : chimie de coordination, chimie théorique, propriétés optiques, RMN paramagnétique, agents de contraste IRM et propriétés optiques.

<https://telements.fr/summer-school/>

12-16 juin

Aussois

### Demain, Nature et Ville ?

Quelles seront les relations entre la nature et la ville de demain ?

<https://dnh2022.sciencesconf.org/>

20-22 juin

Blois

### LA MUSIQUE EN AFRIQUE...

... ET SA DIFFUSION DANS LE MONDE À L'ÉPOQUE MODERNE (1300-1600). Des chercheurs d'horizons disciplinaires divers porteront un regard nouveau sur les traditions musicales de l'Afrique.

<https://cesr.cnrs.fr/search/content/musique%20en%20afrique>

27 juin-1<sup>er</sup> juil.

Tours

# ISGC 2022

May 16<sup>th</sup> - 20<sup>th</sup>

Événement virtuel et physique

Du 16 au 20 Mai, La Rochelle, France

## L'événement mondial de la recherche et de l'innovation en chimie durable

[www.isgc-symposium.com](http://www.isgc-symposium.com)

### CONFÉRENCIERS INVITÉS

<b>Ben FERINGA</b> University of Groningen	<b>Donald HILVERT</b> ETH Zürich	<b>Susannah SCOTT</b> University of California-Santa Barbara	<b>Teodoro LAINO</b> IBM	<b>Régis RÉAU</b> AIR LIQUIDE
<b>Walter LEITNER</b> RWTH Aachen	<b>Laurel L. SCHAFER</b> University of British Columbia	<b>Arjan W. KLEIJ</b> University of Tarragona	<b>Katalin BARTA</b> University of Groningen	<b>Pascal MÉTHIVIER</b> SOLVAY
<b>Alain MARTY</b> CARBIOS	<b>Roberto RINALDI</b> Imperial college-London	<b>Gert-Jan GRUTER</b> AVANTIUM	<b>An-Hui LU</b> Dalian University of Technology	<b>Dirk KUPPERT</b> CLARIANT
<b>Dionisios VLACHOS</b> University of Delaware	<b>Audrey BONDUELLE</b> IFPEN	<b>Margarita DORATO et Jean-Michel DOUARRE</b> MICHELIN		



### RENCONTRES JEUNES CHERCHEURS



**MANIFESTATION** - De la primaire au lycée, les élèves-présentent leurs travaux, sous forme d'un exposé oral en amphithéâtre, et à travers des expositions, des expériences, des vidéos (posters, maquettes...) aux autres élèves. Les travaux développent la démarche d'investigation et mettent en valeur la curiosité, l'inventivité des élèves confrontés à un problème scientifique ou technique.

2 avril

Blois

### C GENIAL



Fondation pour la culture scientifique et technique

**MANIFESTATION** - Concours national ouvert aux lycéens et aux collégiens, 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 en digital le 18 mai.

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

30 mars - 6 avril

Orléans - Poitiers