microscoop

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

n°83 - janvier 2021

Histoire

Le tour de chœur de Chartres : un lieu de sculpture

Physique

Vers une compréhension nouvelle des plasmas

La modélisation électromagnétique

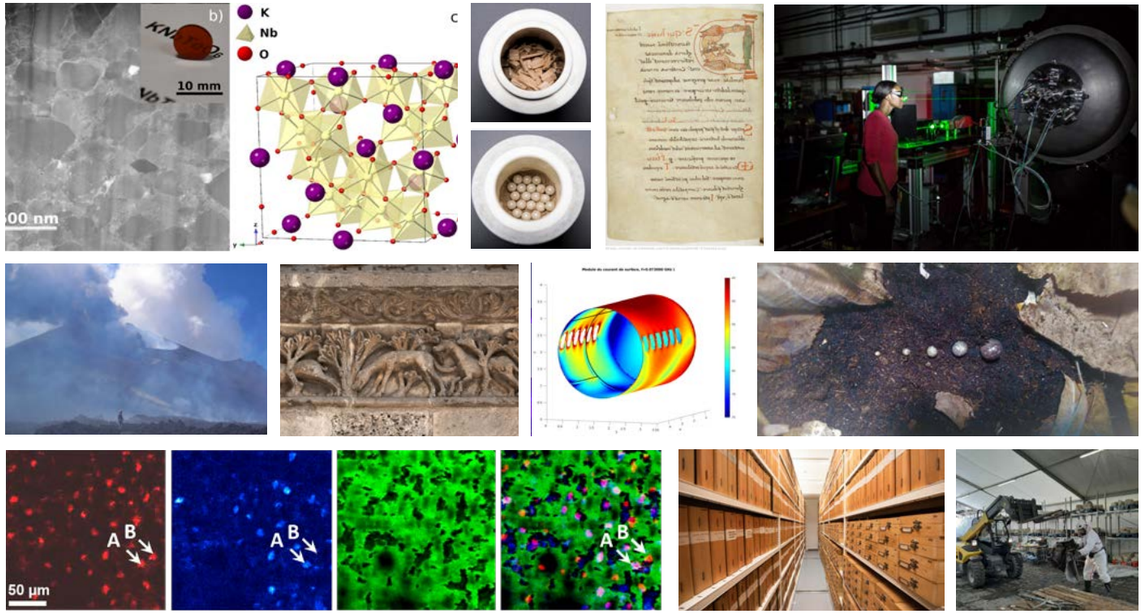
Matériaux

Le plomb de Notre-Dame passe à l'analyse

Chimie

La transdisciplinarité au service de la conception d'implants innovants «éphémères»

cnrs



4 Physique

- Vers une compréhension nouvelle des plasmas froids
- La modélisation électromagnétique, une sécurite pour l'aéronautique

8 Biologie

- L'horloge biologique tourne…même chez le cloporte !

10 Histoire

- De l'image au texte dans les manuscrits liturgiques : les écoles de Tours au XIe siècle
- Le tour de chœur de Chartres : un lieu de sculpture
- Une photothèque dédiée à l'art médiéval à Poitiers

16 Archéologie

- Le bois de cervidé, une matière première de l'artisanat du Moyen-Âge

18 Matériaux

- Le plomb de Notre-Dame passe à l'analyse
- Oxydes de tellure : une diversité de matériaux pour l'optique

22 Chimie

- La transdisciplinarité au service de la conception d'implants innovants « éphémères »
- BioseDev, une startup qui broie du vert
- Un voyage dans des nuages tourbillonnants de gaz et de particules

28 Actualités

microscoop

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

n°83 - janvier 2021

ISSN 1291-8083

Photo couverture : Le Massacre des Innocents (1542-1544), réalisé par le sculpteur François Marchand.

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

Directeur de la publication
Ludovic Hamon

Secrétaires de la publication
Florence Royer
Miléna Verot

Création graphique/conception
Linda Jeuffrault
Hugo Guimonneau

Ont participé à ce numéro :
Aurélia Azéma, Sophie Beltran-Bech, Jean Beuvier, Florent Boissou, Marion Boudon-Machuel, Nicolas Bui, Philippe Carre, Éric Champion, Sébastien Chenu, Gaëlle Delaizir, Francis Denanot, Charlotte Depeux, Jean-René Duclere, Vanessa Ernst-Maillet, Christophe Guiffaut, Élise Guyot, Gilles Kagan, Maxime L'Héritier, Philippe Leproux, Amandine Magnaudeix, Elisabeth Nau, Pamela Nourrigeon, Alain Reineix, Mélanie Riveault, Tjarda Roberts, Guillaume Sarah, Henrique Sarmento-Pedro, Julien Souquet-Grumey, Delphine Syvilay, Sédina Tsikata

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

IMPRIM'VERT®

Éditorial

Bonjour à toutes et à tous,

Même si elle a débuté dans un contexte de situation sanitaire incertaine, nous espérons tous que cette année 2021 soit plus sereine et vous permette de porter pleinement vos projets. Cette année s'annonce d'ailleurs riche puisqu'elle sera marquée par le démarrage des nouveaux projets CPER et Equipex+, le lancement d'Horizon Europe, des fonds structurels (2021-2027), des plans de relance et du PIA4…

La délégation s'organise d'ailleurs pour mieux vous accompagner dans la construction et l'exécution des projets structurants. Nous essayons de combiner les expertises présentes au sein de la délégation (ingénierie de projets, conduite de projets, gestion de projets…) Nous avons ainsi construit une offre de service pour vous aider à la structuration des plateformes et, notamment, à la mise en place des tarifications.

Nous pouvons être fiers de la qualité des travaux de recherche qui sont menés sur le territoire couvert par la délégation comme en témoigne la remise de distinctions à plusieurs collègues de la circonscription ou la réussite à des appels projets prestigieux tels que l'ERC. Cette qualité se traduit également par une dynamique dans le domaine du partenariat et de la valorisation par la création de laboratoires communs et de nouvelles entreprises. Les différents articles de MICROSCOOP illustrent bien que nous ne pouvons pas dissocier recherche fondamentale et recherche appliquée ; les deux s'alimentent mutuellement.

Plusieurs articles de ce nouveau numéro de MICROSCOOP mettent aussi en avant la diversité et la richesse des recherches menées sur le territoire par des laboratoires en SHS : l'importance de la forme dans la compréhension des manuscrits liturgiques, la modélisation numérique du tour de chœur de la cathédrale de Chartres, une photothèque dédiée à l'art médiéval, l'usage du bois de cervidé au Moyen-Âge, l'analyse du plomb de la cathédrale de Notre-Dame.

Très bonne lecture.

Ludovic Hamon
Délégué régional

Vers une compréhension nouvelle des plasmas froids

Le milieu plasma, en raison de la diversité de phénomènes et de comportements qui y sont présents, possède une grande complexité mais permet plusieurs voies d'exploitation. Afin d'éclaircir la complexité de ce milieu, des techniques d'étude avancées sont mises en œuvre pour les plasmas froids à l'Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement.

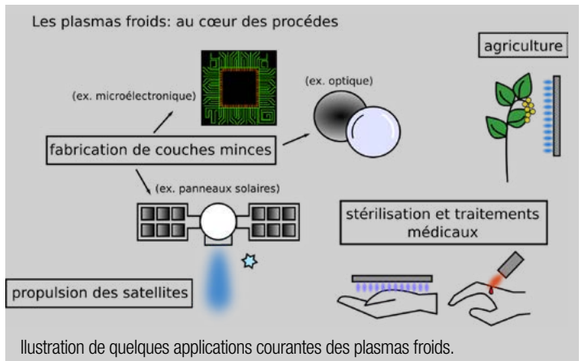
Les différents états fondamentaux de la matière sont enseignés très tôt, souvent via un exemple classique : la transition d'un solide, comme la glace, à l'état liquide en fondant, puis à l'état gazeux en s'évaporant. À ces états s'ajoute l'état plasma, atteint avec un apport important d'énergie à la matière, suffisant non seulement pour casser les liens inter-atome de la matière concernée, mais permettant même la séparation des charges positives (ions) et négatives (électrons) constituants de l'atome. L'état plasma se caractérise donc comme une soupe de neutrons, d'ions et d'électrons.

UN MILIEU OMNIPRÉSENT

Les plasmas ont été la cible de recherches actives depuis plusieurs décennies, en raison de la diversité de milieux dans lesquels ils existent et de leur vaste champ d'applications. Dans la nature, les plasmas existent, par exemple, dans les aurores boréales, les milieux interplanétaires et interstellaires, les étoiles et au voisinage même d'objets comme des trous noirs. Les plasmas artificiels créés eux dans les laboratoires sont manipulables avec des champs magnétiques et électriques, les rendant intéressants pour différentes applications et procédés.

PARFOIS CHAUD, PARFOIS FROID

Une distinction est souvent faite entre deux catégories, les plasmas chauds et les plasmas froids. Les plasmas chauds ont, typiquement, des degrés d'ionisation élevés et des températures d'ions et d'électrons semblables, atteignant environ 10^7 K. Ces plasmas sont intéressants car ils peuvent être le siège de réactions de fusion, offrant dans le futur la possibilité de générer une source d'énergie propre et abondante via les réactions entre les noyaux des espèces atomiques légères. Cette ambition mobilise des physiciens à travers le monde. De l'autre côté, les plasmas froids se caractérisent par leur degré d'ionisation plus faible et par leurs températures électroniques (allant jusqu'à environ 10^6 K au maximum, souvent plusieurs ordres de grandeur en dessous) généralement très supérieures aux températures ioniques. Ces plasmas sont particulièrement importants également, car ils sont ancrés dans nos vies quotidiennes, souvent de façon inédite et cachée.



Ilustration de quelques applications courantes des plasmas froids.

QUELQUES APPLICATIONS

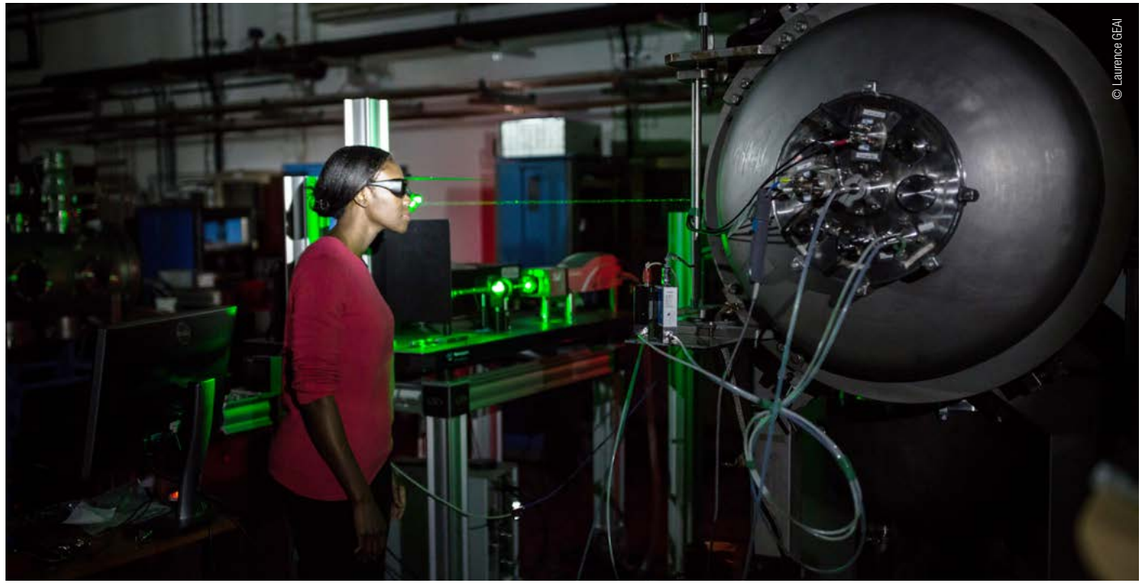
Les plasmas froids se trouvent aujourd'hui au sein de nombreux procédés industriels. Dans le dépôt assisté par plasma, ils sont exploités pour la pulvérisation et la déposition des matières sur des substrats, donnant lieu à la formation de couches minces et de matériaux nanostructurés complexes. Ces produits sont ensuite utilisés pour des applications dans la microélectronique, la tribologie, la photovoltaïque, le domaine médical, l'optique, parmi d'autres. Les plasmas froids sont régulièrement utilisés pour l'activation des surfaces des matériaux, et pour des procédés de dépollution détruisant des molécules toxiques. Les plasmas froids trouvent aussi des applications dans le milieu spatial, où les technologies de propulsion par plasma permettent le déplacement et le positionnement de satellites et de sondes spatiales. Ces applications rendent possibles non seulement des missions d'exploration interplanétaire, mais aussi des moyens de communication au quotidien (GPS, internet, téléphonie). Ces dernières décennies, les plasmas froids ont trouvé également des applications dans la médecine, pour la stérilisation et la cicatrisation des tissus, et dans l'agriculture, pour le traitement de graines de plantes et des sols pour augmenter les récoltes.

DES APPROCHES SCIENTIFIQUES MISES À JOUR

Malgré la diversité d'applications actuelles, certaines questions se posent. Comment optimiser la performance des sources plasmas froids actuels ? Comment les intégrer dans de nouveaux procédés et pour quelles nouvelles applications ? La complexité des plasmas froids complique les réponses à ces questions. Plusieurs questions restent ouvertes pour différentes sources de plasmas froids : le comportement, parfois inattendu, des particules chargées soumises aux champs magnétiques et électriques, l'interaction de ces particules entre elles et avec leur environnement, les propriétés mêmes de particules difficiles à mesurer *in situ*. Dans ces domaines, ICARE* s'intéresse particulièrement à développer et à appliquer de nouvelles méthodes permettant de répondre aux questions sur le fonctionnement des sources en plasmas froids.

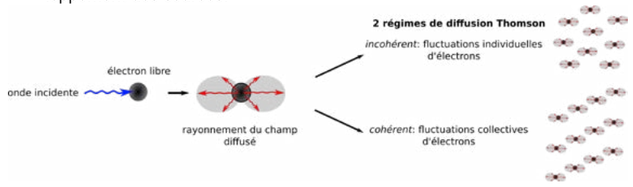
"Ces nouvelles informations faciliteront ensuite la modélisation, l'optimisation et le développement des sources."

Une voie consiste au développement de diagnostics adaptés aux uniques défis posés par les plasmas froids. Le laboratoire travaille actuellement avec des diagnostics lasers basés sur la diffusion Thomson. Cette diffusion fait référence au rayonnement produit lorsque les charges libres (principalement les électrons) sont soumises à une onde électromagnétique. La mesure du champ diffusé peut fournir, de manière non-invasive, des renseignements sur le comportement collectif et individuel des particules, levant donc le voile sur des aspects toujours peu compris dans ces plasmas.


© Laurence GEAI

Expériences avec la diffusion Thomson incohérente. Dans cette implémentation, un faisceau laser est envoyé à travers le plasma étudié dans une chambre à vide et une branche de détection (non visible) récupère les photons diffusés.

Le laboratoire dispose de deux diagnostics avec des caractéristiques uniques. Un diagnostic de diffusion Thomson cohérente, PRAXIS, permet de mesurer les fluctuations de densité électronique (i.e. le comportement collectif) avec une très grande sensibilité. Cette capacité à mesurer ces fluctuations permet d'identifier et de caractériser en détail des ondes dans le plasma. Il y a quelques années, le laboratoire CPHT (Ecole Polytechnique, Palaiseau) a mis en évidence dans les simulations numériques la présence d'une onde capable d'expliquer le déconfinement d'électrons dans un propulseur de Hall. Le diagnostic PRAXIS, issu des recherches menées avec des chercheurs des laboratoires LPP** (Palaiseau) et de IJL (Nancy), a fourni les premières preuves expérimentales de l'existence de l'onde prédite. Récemment, ces travaux ont été étendus avec le développement d'un diagnostic de diffusion Thomson incohérente, THETIS. Ce diagnostic donne, en revanche, accès aux fluctuations individuelles des électrons (i.e. le comportement non-collectif) permettant de remonter en conséquence aux propriétés telles que la température, la densité et la vitesse de dérive des électrons dans des plasmas froids. Ce qui distingue ces diagnostics est leur sensibilité extrêmement élevée, permettant ainsi des nouvelles mesures dans les plasmas de très faible densité. Les principes de la diffusion Thomson, longuement appliqués à l'étude des plasmas chauds et denses, ont pu être adaptés pour sonder un nombre de plasmas froids pour la première fois. Ces nouvelles informations faciliteront ensuite la modélisation, l'optimisation et le développement des sources.



La diffusion Thomson sur les électrons. Selon les échelles observées, il est possible de remonter aux informations sur les fluctuations individuelles des électrons (diffusion incohérente) ou des fluctuations collectives (diffusion cohérente).

UN EFFORT COLLABORATIF

La singularité de ces recherches tient dans le rapprochement des connaissances théoriques, expérimentales et numériques et dans la coopération de différentes équipes françaises et étrangères. Les travaux sur PRAXIS et la comparaison des résultats expérimentaux aux modèles et aux simulations ont bénéficié de collaborations d'ICARE avec des équipes à l'Ecole Polytechnique (LPP, CPHT) et avec l'Université de Nancy (IJL), tandis que le développement de THETIS a été le fruit d'une collaboration avec le LPGP à Orsay et le CEA Saclay, soutenue par le CNES. D'autres collaborations avec des experts en simulations numériques en plasmas froids (à Stanford et au laboratoire LAPLACE, Toulouse) donnent les moyens de progresser sur la compréhension physique de différentes décharges. ICARE héberge notamment le moyen d'essais national PIVOINE-2G pour la propulsion électrique. ICARE est aussi laboratoire participant du nouveau groupement de recherche (GdR) EMILI, fédérant la communauté plasmas froids et lasers. La mise en commun des compétences et des moyens donnent l'opportunité d'avancer différentes thématiques en plasmas froids et de développer de nombreux projets avec la communauté nationale et internationale.

* ICARE : Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement UPR3021

** LPP : Laboratoire de Physique des Plasmas
CPHT : Centre de Physique Théorique
LPGP : Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas
IJL : Institut Jean Lamour
CNES : Centre National des Etudes Spatiales

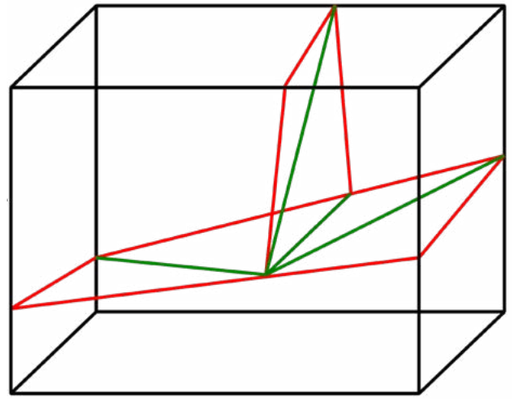
Sedina TSIKATA < ICARE
sedina.tsikata@cnrs-orleans.fr
https://icare.cnrs.fr/

La modélisation électromagnétique, une sécurite pour l'aéronautique

Avant toute mise en service d'un nouveau modèle d'avion, et pour la qualification des équipements, des tests de niveau de compatibilité électromagnétique doivent être menés. Ces essais imposent des coûts et des contraintes techniques importantes qui poussent les avionneurs à recourir à la simulation numérique.

La simulation électromagnétique 3D est utilisée dans le domaine de la compatibilité électromagnétique (CEM) pour la modélisation de structures complexes, telles que les avions et autres types de moyens de transport, afin de prédire les contraintes électromagnétiques conduites ou rayonnées. Ces dernières peuvent occasionner des dysfonctionnements sur les systèmes électroniques embarqués. Par exemple, ces appareillages doivent être protégés des agressions de type foudre ou face à une exposition à des rayonnements électromagnétiques externes dit "champ fort" et provenant des émetteurs radiofréquences.

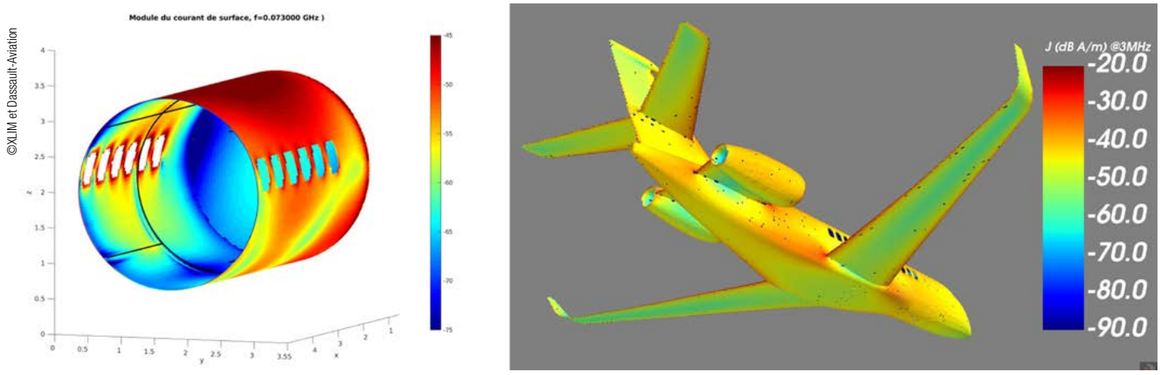
Ce défi scientifique est au cœur du projet ANR CONFORME. Le premier enjeu visé est la modélisation précise des surfaces à la fois conductrices et courbes tel que le fuselage d'un avion. Un attachement foudre sur avion produit des courants de forte intensité circulant dans toutes les structures conductrices. Le risque d'étincelage devient probable et peut être critique notamment pour les réservoirs de carburant. Leur prédiction est donc essentielle. Le deuxième enjeu porte sur la prédiction des contraintes en courant induites par la foudre et le champ fort sur le câblage. Elles sont susceptibles de provoquer de graves dysfonctionnements dans les équipements. La problématique est très large puisqu'elle couvre des fréquences de 0 à 5 MHz pour la foudre et de 100 KHz à 300 MHz pour le champ fort. La simulation numérique doit évoluer pour répondre à des objectifs de précision des solutions calculées et d'efficacité. Ainsi, les incertitudes du modèle de résolution numérique seront négligeables et ne subsisteront que celles qui sont exogènes, soit liées à la connaissance de l'avion (caractéristiques électromagnétiques des matériaux, topologie des câbles, simplification géométrique,…).



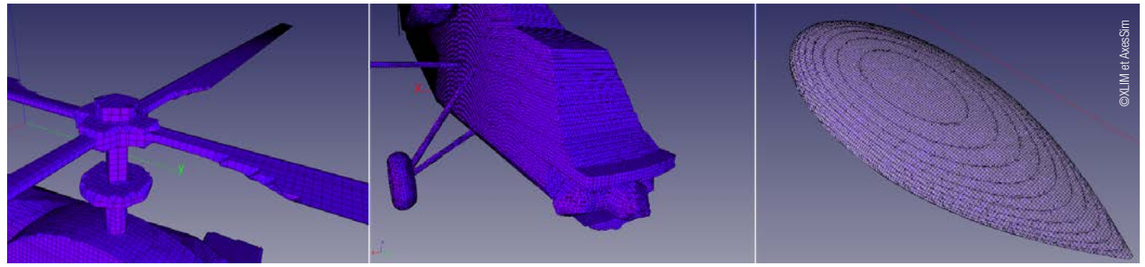
Deux parois en Té en intersection (contour rouge) avec une cellule DFDT parallélépipédique. Cette dernière est alors découpée en trois régions polyédriques. Processus de triangulation de la paroi intersectée en vert.

PLUSIEURS MÉTHODES D'ANALYSE NUMÉRIQUE/MATHÉMATIQUE MOBILISÉES

La complexité géométrique de la structure interne d'un avion et la diversité des matériaux et systèmes à traiter nécessitent le recours à diverses techniques numériques. Leur complémentarité vise la résolution électromagnétique, basée sur les équations de Maxwell, de l'ensemble des éléments conducteurs d'un avion. La méthode des Différences Finies dans le Domaine Temporel (DFDT) se positionne parmi les rares approches mathématiques/informatiques capables de réaliser une modélisation globale exhaustive impliquant toute la structure d'un avion (fuselage, assemblages externes et internes, équipements).



Courant de surface à la fréquence de 73 MHz sur un fuselage cylindrique et sur un avion de la gamme Falcon (Dassault-Aviation). Méthode DFDT conforme



Illustrations de maillages conformes sur hélicoptère et une cible en forme d'amande. Logiciel MAXSIM d'AXESSIM.

La topologie complexe des câbles est, quant à elle, prise en compte dans la modélisation 3D grâce à un couplage entre les équations de Maxwell s'appliquant aux structures tridimensionnelles et les équations des lignes de transmission. Ces dernières régissent la propagation du courant sur les câbles.

Comparé à des approches alternatives telles que les équations intégrales ou les éléments finis, la méthode DFDT présente l'avantage de rester performante lorsque la densité ou la complexité géométrique d'un avion augmente. C'est particulièrement le cas pour la structure interne d'un avion. Son large spectre de résolution et son approche temporelle confèrent à la DFDT des atouts uniques complétés par sa capacité à traiter des topologies complexes de câbles sans surcoût important.

> "Des avancées majeures et originales ont été réalisées sur différents modèles numériques."

Toutefois, la résolution par la méthode DFDT s'appuie sur des maillages surfacique et volumique basés sur des cubes de quelques centimètres de côté pour un avion. Ce maillage conduit à une approximation d'une géométrie courbe par des marches d'escalier similaire à celles observées sur une construction en lego. Cette représentation des parois conductrices courbes introduit localement des imprécisions qui se répercutent sur les valeurs calculées en champ et en courant. Par le développement d'une approche DFDT conforme, les chercheurs produisent des maillages toujours avec des cellules cubiques (ou parallélépipédique rectangle) mais avec une paroi supplémentaire à l'intérieur de chaque petit cube représentant la surface exacte de la géométrie dans la cellule. Ces cellules sont alors rendues conformes à la géométrie. En outre, toute la chaîne de traitement numérique (préparation de la géométrie, maillage conforme, résolution du problème, post-traitement) doit être mise en adéquation. Les techniques numériques de résolution évoluent aussi pour tenir compte des parois rajoutées au sein des cellules.

LES DERNIÈRES AVANCÉES

Des avancées majeures et originales ont été réalisées sur différents modèles numériques. Il s'agit tout d'abord des modèles de matériaux conducteurs se comportant différemment pour les problèmes à basses et hautes fréquences et qui ont été adaptés à la géométrie des cellules conformes. Ensuite une technique originale pour l'interpolation du champ dans les cellules conformes est proposée. Elle s'appuie sur la méthode des coordonnées barycentriques généralisées appliquée dans des géométries de type polyèdre que forment les cellules conformes. Cette approche est nécessaire pour l'évaluation des courants de surface. Les parois de la structure sont triangulées à partir du maillage conforme pour faciliter le calcul et la représentation 3D des courants de surface. Un modèle de câble couplé avec le champ électrique dans les cellules conformes a été mis au point afin que la distribution du courant soit finement prédite entre les parois conductrices de l'avion et les câbles circulant dans leurs voisinages.

Le partenariat dans ce projet avec la PME AXESSIM a permis l'intégration immédiate dans leur plateforme graphique des modules développés et de rendre plus accessible la chaîne de traitement numérique pour les utilisateurs en proposant de nouveaux outils de pré- et post-traitements pour la méthode DFDT conforme. En fin de projet, la chaîne logicielle a été évaluée sur les problématiques aéronautiques proposées par DASSAULT-AVIATION. Les modélisations conformes sous-jacentes ont poussé l'évolution des différentes briques logicielles pour une utilisation industrielle.

Enfin, au-delà des problématiques CEM aéronautiques, le logiciel résultant pourra être appliqué dans d'autres domaines de la CEM, les transports au sens large, les satellites... Il ouvre aussi d'excellentes perspectives pour la modélisation précise d'antennes en trois dimensions ou intégrées sur porteur et le calcul large bande de la réflectivité de cibles (drone, missile, bateaux, etc.) ainsi que de leurs signatures temporelles.

Le projet CONFORME financé par la DGA est de type ANR Maturation avec des éléments de recherche fondamentaux, du développement de méthodes numériques et de la maturation sur l'ensemble de la chaîne logicielle développée.
Le projet est piloté par l'institut XLIM, les partenaires sont la PME AXESIM et DASSAULT-AVIATION. Le projet a commencé en mars 2017 et s'est terminé fin mai 2020.

Nicolas BUI < XLIM
nicolas.bui@xlim.fr
Francis DENANOT < XLIM
francis.denanot@xlim.fr
Alain REINEIX < XLIM
alain.reineix@xlim.fr
Christophe GUIFFAUT < XLIM
christophe.guiffaut@xlim.fr
https://www.xlim.fr

L'horloge biologique tourne…même chez le cloporte !

Qu'est-ce qui fait que le cloporte est un modèle de choix pour étudier le vieillissement ? Et bien, c'est un invertébré, facile à manipuler et à contrôler expérimentalement, qui grandit tout au long de sa vie, et puis, il vieillit, comme nous !

Passé trente ans et toujours pas d'enfants, ou comment s'attirer les foudres de belle-maman : « *Qu'attends-tu pour faire un enfant ? L'horloge biologique tourne* ». Ce concept d'« horloge biologique de la fécondité » désigne un processus fort étudié en biologie : la sénescence reproductive. La sénescence est le processus biologique lié à la diminution des capacités physiologiques avec l'âge accompagnée par une augmentation de la probabilité de mourir. Chez l'Homme, comme chez de nombreuses espèces, le succès de reproduction est altéré avec le temps. Ainsi, plus l'âge des parents augmente, plus leur probabilité de produire une descendance diminue. Ce phénomène peut être imputé à une diminution de l'attractivité des vieux individus, mais aussi à une diminution de la qualité des cellules sexuelles : les gamètes.

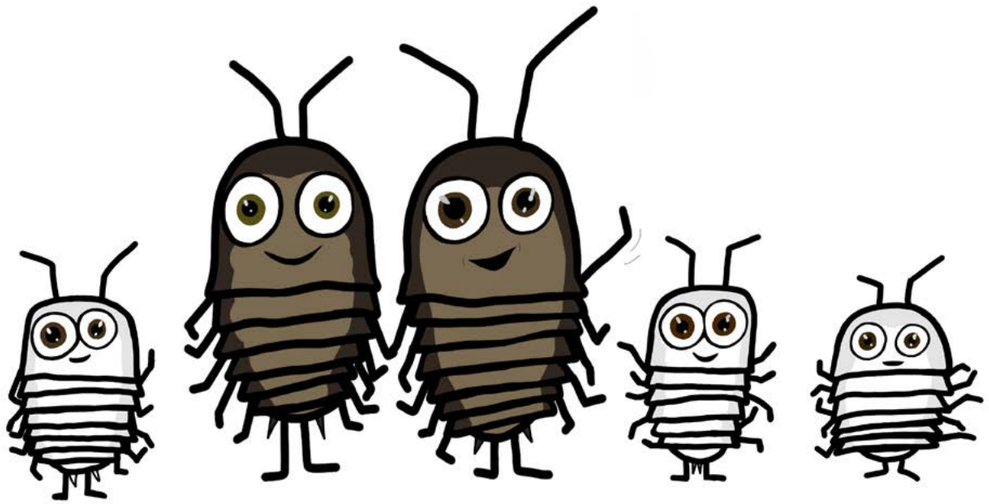
DES ORGANISMES PARTICULIERS ?

Pourtant, il existe au sein du monde animal des organismes qui semblent plus aptes à se reproduire quand ils vieillissent : c'est le cas des organismes à croissance dite « indéterminée », classiquement représentés par les poissons et les crustacés. Leur particularité : croître tout au long de leur vie, ce qui leur confère un avantage physique plus important pour la reproduction à âge avancé. Ainsi, si la femelle poisson gagne en taille avec le temps, elle pourra produire plus d'œufs et donc potentiellement augmenter son succès de reproduction. Des biologistes du laboratoire Ecologie et Biologie des Interactions (EBI – UMR 7267 CNRS / Université de Poitiers) ont voulu vérifier ce phénomène chez un organisme tant passionnant qu'inattendu : le cloporte commun *Armadillidium vulgare.*

Chez les organismes à croissance indéterminée, la taille augmente avec l'âge.
Sur cette photo les individus sont classés par âge et donc par taille de gauche à droite.

UN MODÈLE TRÈS INTÉRESSANT

Ce petit crustacé terrestre peut vivre jusqu'à 3 ans et croît de telle façon que les vieux individus reproducteurs peuvent faire dix fois la taille des jeunes reproducteurs. De plus, la femelle est pourvue d'une poche incubatrice lui permettant de protéger les embryons lors de leur développement : c'est le marsupium. Depuis très longtemps, les vieux et donc les gros individus sont considérés comme étant très importants pour la dynamique des populations car, de par leur taille, ils produisent plus de petits et permettent le renouvellement des générations. Cependant, les biologistes du laboratoire EBI ont voulu tester si l'âge pouvait d'une façon ou d'une autre affecter le succès reproducteur. Car, oui, le succès reproducteur prend en compte le nombre de petits produits, mais dans sa définition, la capacité de ces petits à se produire a elle aussi toute son importance.



Une "famille" cloporte, sachant que seule la femelle s'occupe de la descendance chez l'espèce Armadillidium vulgare.

Étudier l'effet de l'âge sur la reproduction du cloporte demande beaucoup de temps. Observés sous la loupe, les individus peuvent être sexés et leur état physiologique (mue/intermue/gravidité) peut être déterminé.

L'IMPACT DE L'ÂGE SUR LA REPRODUCTION

Pour tester l'effet de l'âge sur le succès reproducteur du cloporte, les biologistes ont mis en place quatre-vingt croisements : quarante croisements comportant une femelle et un mâle de trois ans et quarante croisements comportant une femelle et un mâle de 1 an. Les biologistes ont ensuite dénombré le nombre de portées obtenues, le nombre de petits par portée, leur masse à la naissance puis à l'âge adulte, ainsi que leur survie dans le temps et leur capacité à se reproduire.

PLUS DE PETITS, MAIS DES PETITS DE MAUVAISES QUALITES !

Les cloportes âgés ont eu tendance à produire moins de portées que les individus jeunes, mais, comme attendu, le nombre de petits produits par les vieux individus était beaucoup plus important. Bien que la masse des petits issus des vieux couples était, en moyenne, plus importante à la naissance, cette différence s'est estompée avec le temps. Enfin la probabilité de survie et de reproduction a été clairement réduite chez les individus ayant des parents âgés.

> "...la qualité des descendants... est impactée par l'âge de ses parents"

Alors, oui ! Contrairement à ce qui était attendu dans la littérature, le cloporte commun subit lui aussi le processus de sénescence reproductive. Bien que le gain de taille lui confère un avantage, la qualité des descendants qu'un vieil individu produit est impactée par son âge. Il faut dire qu'avec l'âge, les individus peuvent avoir accumulé des dommages génétiques et cellulaires qui les rendent moins performants. De plus, en maintenant leur corps pendant trois ans, ils ont dépensé beaucoup d'énergie et n'en ont peut-être plus assez pour produire des petits de qualité. Avec ce gain de taille, ils peuvent tout de même produire davantage de petits, bien que de moins bonne qualité, leur permettant potentiellement d'augmenter leur chance d'avoir une descendance.

DE LA SENESCENCE REPRODUCTIVE CHEZ TOUS LES ORGANISMES ?

Chez ces organismes, les chercheurs pensaient que les capacités physiques, qui augmentaient avec l'âge permettaient d'échapper au processus de sénescence reproductive. Les biologistes du laboratoire EBI ont pu mettre en évidence que, à l'inverse, la descendance des vieux individus était vraiment de mauvaise qualité. Afin de mieux comprendre comment fonctionne la sénescence reproductive, il est indispensable d'étudier l'effet de l'âge sur l'ensemble des traits liés à la reproduction et pas seulement compter le nombre de petits produits. Et, ce n'est pas parce que l'âge permet de gagner en sagesse, en maturité, ou en taille comme chez le cloporte, que cela est gage de qualité… Il faut se méfier, le tic-tac de l'horloge biologique résonne, et ce même chez le cloporte.

Charlotte DEPEUX < EBI
charlotte.depeux@univ-poitiers.fr
Sophie BELTRAN-BECH < EBI
sophie.beltran.bech@univ-poitiers.fr
https://ebi.labo.univ-poitiers.fr/

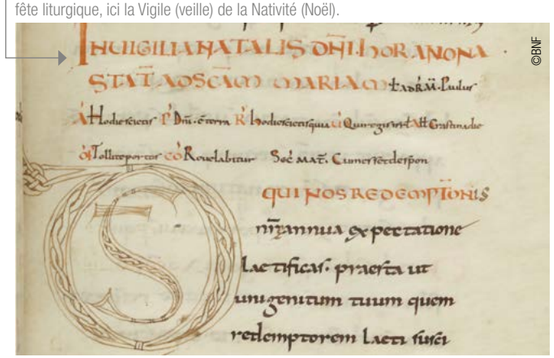
De l'image au texte dans les manuscrits liturgiques : les écoles de Tours au XIe siècle

La compréhension des textes anciens ne tient pas uniquement dans la lecture des mots mais aussi dans le décryptage d'illustrations graphiques pleines de subtilités. L'Institut de Recherche et d'Histoire des Textes en donne un bel exemple avec un missel de Saint-Martin détenu par la BNF.

Tours est un grand centre ecclésiastique au Moyen Âge. Il se compose de deux principales communautés religieuses : Saint-Martin et Marmoutier. Approximativement 350 manuscrits liturgiques y ont été produits du VIIIe au XIIIe siècle. Cette production dense est destinée à développer le culte de saint Martin. Une question qui se pose depuis quelques décennies est de savoir s'il exista durant cette époque un ou plusieurs *scriptorium/a*. Les hypothèses sont variées, on penche à la fois pour un scriptorium à Saint-Martin, à Marmoutier et dans d'autres communautés religieuses à moins d'un seul à Saint-Martin dont les autres communautés resteraient tributaires. Dans l'un ou dans l'autre cas, des manuscrits y ont bien été produits, fussent-ils destinés à d'autres communautés tourangelles voire à d'autres régions de France. Le but est toujours le même : l'expansion du culte du saint patron. Les manuscrits produits sont variés, à la fois des Bibles, des *Martinelli* (recueil de textes relatifs à Saint-Martin de Tours), des sacramentaires, des bréviaires ou encore des missels. À partir du XIe siècle, les communautés martiniennes conservent une production de manuscrits liturgiques conséquente. Ces manuscrits contiennent un décor composé d'enluminures en pleine page et parfois d'initiales historiées, montrant la volonté des commanditaires de mettre en avant une exégèse visuelle liée à l'exégèse textuelle. On constate avec le développement de ce type de décor qu'est l'initiale historiée que *« la lisibilité du mot y est subordonnée à sa sacralisation, manifestée dans la transformation de son essence visuelle. La forme de la lettre devient autre chose qu'un signe graphique et manifeste plus que les sons du langage ; elle devient un objet fait de substances étrangères et vivantes, le réceptacle de couleurs, d'entrelacs, d'animaux ; elle est pliée, dénaturée, subvertie, diversement combinée avec ses voisines »*.*

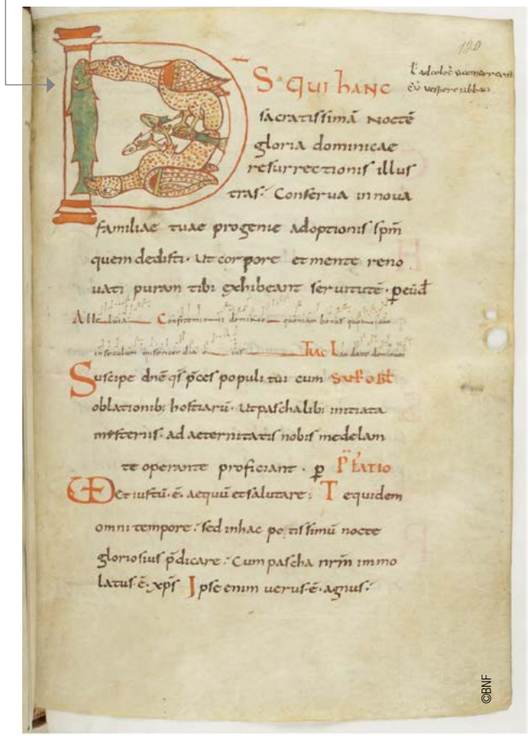
Un missel** daté du milieu du XIe siècle provenant de la collégiale Saint-Martin, conservé à la BNF, est un bel exemple de ce genre d'initiales historiées. Il est important toutefois, avant d'étudier le décor et sa symbolique, de prendre en compte le manuscrit dans sa globalité. De fait, les rouages d'écriture dans leur essence et dans leur forme doivent être compris.

Rubrique rouge en onciale : elle est bien visible pour distinguer le début d'une nouvelle fête liturgique, ici la Vigile (veille) de la Nativité (Noël).



Missel de Saint-Martin de Tours, Paris, BnF, ms. latin 9434, XIe siècle.

Les initiales initient un texte de prière qui débute la célébration du Canon de la Messe. Ces trois lettrines forment la lettre « D » du mot « Deus ».



Missel de Saint-Martin de Tours, Paris, BnF, ms. latin 9434, XIe siècle

UN PRÉALABLE : L'ANALYSE DES TEXTES ET DE LA MUSIQUE

L'étude du texte passe en premier lieu par l'analyse de la forme des lettres, c'est-à-dire par la paléographie. L'écriture du missel de Saint-Martin est arrondie, non anguleuse, on peut ainsi la qualifier de minuscule caroline. Ce type d'écriture est typique du XIe siècle. Effectivement, vers la fin du XIIe siècle, l'écriture devient de plus en plus anguleuse et sera identifiée à la gothique. Un autre élément permet de préciser la datation : l'utilisation de la semi-onciale pour les rubriques. Ce mode d'écriture alterne entre caractères minuscules et majuscules de forme assez ronde, n'utilisant pas des traits droits pour former le « D » ou le « M » par exemple. La semi-onciale, tradition ancienne déjà présente au VIIIe siècle, n'est plus utilisée à partir du XIIe siècle. Les neumes, notations musicales du haut Moyen Âge, sont celles que l'on retrouve dans le Val de Loire au milieu du XIe siècle. Ils se distinguent de ceux du nord-est de la France, dits de l'école de Metz ou lorrains, largement influencés par les notations de l'espace germanique.

Le texte d'un module réduit est celui des parties chantées de la messe. Les signes au-dessus du chant correspondent à la mélodie. Ce sont des notes de musique. Les lettres en rouge définissent les types de chants. Par exemple « Co » pour le chant de la Communion.

Missel de Saint-Martin de Tours, Paris, BnF, ms. latin 9434, XIe siècle.

DE L'ORNEMENT…

La lettrine ornée se compose d'un grand « D » de forme circulaire. Au Moyen Âge, notamment chez saint Augustin, le cercle est la forme géométrique la plus parfaite. Cette forme est associée à la vertu, à la recherche permanente de la conversion et à l'ascension de l'âme vers Dieu. Au centre du cercle se trouve la lettre « S ». Ces deux lettres forment l'abréviation courante du mot *« Deus »*.

> "..deux animaux ailés placés de manière symétrique..."

La lettrine zoomorphe présente un poisson de couleur verte reposant sur une colonne et deux animaux ailés placés de manière symétrique et tenant chacun un poisson dans leur bec. La couleur verte du poisson est un rappel de la couleur du bois de la croix du Christ et est aussi la couleur de la résurrection future des corps. Le poisson figuré sur une colonne est le symbole du Christ ressuscité. La colonne est selon les commentateurs de la Bible l'image de *l'Ecclesia*. Les oiseaux représenteraient les apôtres, en référence à l'aigle de Jean. Ceux qui l'ont écouté s'en sont nourris pour évangéliser le monde et créer une communauté, l'Église. Ses fidèles seraient les petits poissons qu'ils enserrent, les fruits naissant de ce repas composé du corps du Christ.

… À LA FIGURE HUMAINE

Deux personnages forment la lettrine historiée, à gauche, une femme que l'on peut identifier comme étant une des Marie qui vient prendre soin du corps du Christ après sa mise au tombeau. La coupe qu'elle tient dans sa main gauche, voilée, renferme des aromates et est destinée à l'embaumement du corps. Marie est tournée vers le second personnage. Ce dernier est un ange dont le corps est courbé pour créer l'arrondi du « D ». C'est l'ange que voient les trois Marie lorsqu'elles se rendent au tombeau du Christ : il leur annonce que le tombeau est vide et que le Christ est ressuscité. De ses deux mains, il montre le texte dont l'initiale découle et explique la posture contorsionnée des personnages, qui répond à la contrainte de la lettrine, à l'instar des sculpteurs contemporains qui sont contraints par la forme de la corbeille.

Les décors, peu nombreux, sont significatifs d'une volonté de mettre en avant la Nativité et la Résurrection, deux moments phares de la liturgie. L'intégration des seules décorations du manuscrit dans la lettre initiant le mot « Dieu » n'est pas sans signification - les lettrines incarnent ce mot en image sans toutefois le représenter. Il s'agit là d'un jeu subtil entre texte et image, entre dissimulation et révélation. Le divin n'est jamais représenté de manière directe, mais toujours par ses intermédiaires ou ses symboles comme l'ange ou le poisson. L'ange qui désigne le texte dans la lettrine historiée explicite le fait que c'est la lecture de ces derniers qui révèle la « vision divine ». L'image de Dieu s'installe petit à petit, d'abord par l'ornement, puis par la figuration animale et enfin la figure humaine. Il prend forme dans l'esprit des lecteurs-récepteurs de l'image à cette époque.

Le programme franco-allemand *Coenobia Turonenses* (COENOTUR) soutenu par l'ANR et la Deutsche Forschungsgemeinschaft est dirigé par l'Université de Tours et celle de Hambourg, en partenariat avec l'IRHT (UPR 841). Il porte sur les rapports entre les communautés cénobitiques de Tours de l'Antiquité tardive au XIIIe siècle, principalement entre la collégiale Saint-Martin et le monastère de Marmoutier.

* Citation extraite de «Forme et fonction des écritures d'apparat dans les manuscrits latins (VIIIe-XVe siècle) » de Stirnemann Patricia, Smith Marc H. . In: Bibliothèque de l'école des chartes. 2007, tome 165, livraison 1. p. 70

** Missel : type de manuscrit élaboré aux Xe-XIe siècles. Il rassemble les pièces nécessaires à la célébration des messes durant l'année liturgique. Il contient ainsi les formules de prières, les lectures, les rubriques de rituels, les chants associés aux différentes parties de la messe. Il peut être soit utilisé directement par les fidèles, soit par le célébrant qui le place sur l'autel en sa direction ou pour que les fidèles le voient, soit par la Schola, chœur de chantres de l'église au Moyen Âge.

Mélanie RIVEAULT < IRHT
https://www.irht.cnrs.fr/

Le tour de chœur de Chartres : un lieu de sculpture

La restauration du monument, entreprise depuis 2015 par la Conservation régionale des monuments historiques, s'accompagne de nouvelles recherches menées par le Centre d'Études Supérieures de la Renaissance, notamment à l'aide d'outils numériques.

Le Massacre des Innocents, (1542-1544) réalisé par le sculpteur François Marchand.

Exceptionnel d'un point de vue architectural, figurant parmi les très rares clôtures conservées d'Amiens à Albi, le tour de chœur de la cathédrale de Chartres l'est aussi en tant qu'ouvrage majestueux de sculpture, monumentale et ornementale. Il est un témoignage précieux de l'art français de la Renaissance. Ce que l'on pourrait appeler un « effet de sculpture » est d'autant plus sensible à Chartres que l'ensemble n'a pas été peint, contrairement à une grande partie de la sculpture sur pierre contemporaine.

UN MANIFESTE SCULPTÉ DE LA FOI CATHOLIQUE

Réalisée par l'architecte Jean de Beauce de 1514 à 1529, cette grande barrière de chœur se distingue par l'ambition de son programme sculpté. Sur une centaine de mètres de long et 6 mètres de haut, s'y développe le plus riche décor ornemental sculpté dans l'architecture religieuse du début de la Renaissance en France, qui encadre une quarantaine de scènes à plusieurs personnages réalisées de 1519 à 1727. Un premier projet, commandé en 1514 au chanoine Michel Manterne, chancelier et administrateur de la cathédrale, prévoyait 68 « histoires » de l'Ancien et du Nouveau Testament, mais le 24 mars 1515, un placard jugé hérétique affiché sur l'un des piliers de la cathédrale entraîna un changement radical. La décision fut alors prise de concentrer le programme sur la figure de la Vierge, dédicataire de la cathédrale, et d'affirmer ainsi le culte marial : quarante scènes relatent la vie de la Vierge et du Christ, les épisodes de l'Ancien Testament étant réduits à des petits reliefs dans la partie inférieure du monument. Outre ses fonctions de clôture de chœur et de reliquaire monumental intégrant une tour des reliques au rond-point et quatre chapelles contenant des reliquaires, le Tour du chœur de Chartres peut donc être considéré comme l'un des premiers manifestes de la foi catholique pour répondre aux attaques des protestants.

DEUX SIÈCLES DE SCULPTURE MONUMENTALE

L'importance du lieu et de la commande expliquent en partie que le projet ait été mené à son terme malgré les aléas du chantier qui s'étira sur plus de deux siècles. Les épisodes de la fin du cycle sont les premiers à avoir été exécutés, suivis par ceux du début, le chantier ayant commencé par les scènes des longs côtés, d'abord au nord puis au sud, à partir de la croisée du transept en progressant vers l'abside, et selon des rythmes disjoints et des séquences aléatoires. Tout en s'inscrivant dans la continuité du projet, la mise en place de chaque groupe sculpté a dû créer en soi un événement. L'homogénéité de l'ensemble tient en grande partie au contrôle attentif opéré par les chanoines. Les contrats conservés détaillent les directives précises imposées aux artistes qui portent sur le sujet, le nombre de figures et les attributs, le choix des matériaux, le temps de réalisation, les modalités d'exécution voire des détails concernant le style.

Le tour de chœur de la cathédrale Notre-Dame de Chartres.

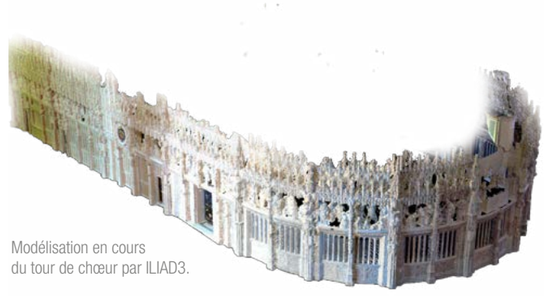
> "...captiver le regard du fidèle... refléter la dignité des reliques... la magnificence des cérémonies..."

Au-delà de l'unité d'ensemble, les scènes relèvent de l'individualité artistique de leurs auteurs, et des courants stylistiques de leur temps. La manière de Jean Soulas, dans les groupes du bras sud, est ainsi caractéristique de l'art des trente premières années du XVI^e^ siècle, par la délicatesse, la pondération d'expression et le raffinement de l'ornement, que l'on observe dans la sculpture, du Val de Loire à la Champagne méridionale. Les deux scènes qui suivent, sculptées par François Marchand, dont l'étonnant Massacre des Innocents, sont représentatives du maniérisme qui se développe dans l'art français à partir des années 1540. Les groupes sculptés ont été pensés au regard de leur emplacement : certaines parties des statues – sommet des têtes, dos ou côtés – n'ont pas été achevées et la prise en compte du point de vue du spectateur est en outre sensible dans la composition que ce soit dans des figures qui basculent légèrement sur le côté, ou dont les légères distorsions anatomiques, selon une construction en raccourci, prennent en compte la déformation optique induite par l'observateur placé au pied du monument.

L'ORNEMENT SCULPTÉ DE LA PREMIÈRE RENAISSANCE

Réalisé dans les années 1521-1529, le décor ornemental avait pour rôle de captiver le regard du fidèle et de refléter la dignité des reliques, mais aussi la magnificence des cérémonies qui se déroulaient dans et autour du chœur. Intégrés dans le soubassement, vingt-huit bas-reliefs figurent des scènes mythologiques et vétérotestamentaires, ainsi que sept portraits en médaillon (empereurs, rois, héros antiques). Au registre médian, la claire-voie accueille l'essentiel de l'ornement d'un remarquable raffinement de sculpture et d'une grande variété (végétal, animal, musical, religieux...).

Ce décor témoigne de liens étroits avec l'art italien, importé en France à partir des années 1490. Les candélabres et chutes d'ornements, caractéristiques de l'art du *Quattrocento*, sont enrichis de motifs « à l'antique » (bucranes, dauphins, chimères, putti, trophées d'armes) inspirés de plaquettes en bronze ou de gravures italiennes. Certains motifs sont directement liés à la liturgie chartraine et au trésor de Notre-Dame. La chemise de la Vierge, symbole de la *Virgini pariturae* et de sa relique, peut être sculptée sur un écu ou accompagnée d'une croix de procession et d'un étendard en sautoir. D'autres motifs liturgiques – burettes, calices, patènes et hosties, ciboires, cierges, chandeliers et ostensoir – évoquaient pour le fidèle ce qui se déroulait par-delà la clôture.



Modélisation en cours du tour de chœur par ILIAD3.

L'affirmation de la foi catholique trouve en outre une expression singulière dans le traitement des portes latérales, déplacées des troisièmes aux quatrièmes travées nord et sud, en 1531 : au nord, les médaillons d'empereurs proclament l'universalité de la religion chrétienne ; au sud les références royales (collier de l'ordre de Saint-Michel, armes de François I^er^ et de Claude de France…) témoignent de son lien indéfectible avec le royaume de France et son roi très chrétien.

LE NUMÉRIQUE POUR LIRE LA SCULPTURE

Les interventions de Victor Louis à la fin du XVIII^e^ siècle ont profondément modifié la structure de la Renaissance : l'intérieur du chœur a été revêtu de stuc et de marbre sur la totalité des piliers et des arcatures, rendant invisible la face interne de la clôture d'origine. La modélisation 3D du Tour de chœur, en cours de réalisation au sein du projet ChArtRes, vise à le restituer dans son état Renaissance. Elle sera accompagnée d'un film et d'interfaces numériques à 360° qui, selon le principe de la réalité augmentée, permettront d'avoir un accès immédiat à des contenus immersifs en haute résolution (textes, images, vidéo) afin de découvrir, comme dans une exposition interactive, l'histoire, l'iconographie, les sources visuelles, le style, et des détails matériels du décor sculpté. Enfin, tant l'ornement que les groupes sculptés feront l'objet d'une valorisation sur les bases de données du CESR, ARVIVA et ROSER.

ChArtRes (Chœur d'Art et Restitution 3D) est financé par la Région Centre-Val de Loire et porté par le Centre d'études supérieures de la Renaissance à Tours (UMR 7323) en collaboration étroite avec ILIAD3 et en partenariat avec la DRAC Centre-Val de Loire, l'association Les Amis de la Cathédrale de Chartres et l'Architecte en chef des Monuments Historiques-Agence de Ponthaud. Il réunit depuis janvier 2019 une équipe interdisciplinaire (historiens de l'art, doctorants et informaticiens).

Marion BOUDON-MACHUEL < CESR
marion.boudon-machuel@univ-tours.fr
Jean BEUVIER < CESR
jean.beuvier@univ-tours.fr
https://cesr.cnrs.fr

Une photothèque dédiée à l'art médiéval à Poitiers

Le Centre d'Études Supérieures de Civilisation Médiévale à Poitiers (UMR 7302 CNRS/Université de Poitiers) possède l'une des plus importantes photothèques au monde portant sur l'art médiéval, dont le fonds documentaire ne cesse de s'enrichir depuis sa fondation en 1956. Originellement portée sur l'étude de l'art roman régional, la photothèque a fait de l'étude des peintures murales romanes l'une de ses spécialités. Les archives conservées sont d'une richesse exceptionnelle, par leur nombre et leur qualité.

250 000 DOCUMENTS CONSERVÉS DONT :

100 000
CLICHÉS PAPIER

8 600
CARTES POSTALES

42 600
DIAPOSITIVES

3 500
PLAQUES DE VERRE

55 000
NÉGATIFS

540
PLANS GRANDS FORMATS

33 000
PHOTOGRAPHIES NUMÉRIQUES

Rayonnages mobiles du compactus où sont conservées les archives à température et hygrométrie surveillées

© CESCM-CROSLAND, 2020

3 missions principales

CONSERVATION DOCUMENTAIRE, ACCOMPAGNEMENT À LA RECHERCHE EN ÉTUDES MÉDIÉVALES ET VALORISATION DU PATRIMOINE GRÂCE À DES CAMPAGNES DE NUMÉRISATION, DES EXPOSITIONS, DES CONFÉRENCES, DES JOURNÉES D'ÉTUDES, DES PUBLICATIONS, ETC

20 000
FICHES CONSULTABLES SUR LA BASE DE DONNÉES EN LIGNE INTITULÉE « ROMANE » POUR PERMETTRE L'ACCÈS À DISTANCE AUX COLLECTIONS*

© VOYER, 2017
Réalisation d'un relevé stratigraphique sur une peinture murale.

3 500
NOUVEAUX CLICHÉS
CHAQUE ANNÉE

© CESCM-CROSLAND, 2020
Conservation des plaques de verres.

150 m²
DE RELEVÉS ARCHÉOGRAPHIQUES PERMETTENT L'ÉTUDE DES TECHNIQUES MÉDIÉVALES ET PARTICIPENT À LA CONSERVATION DES ŒUVRES

© CESCM-CROSLAND, 2020
Analyse d'une plaque de verre et de son état de conservation.

1858
DATE DE LA PLUS VIEILLE ARCHIVE DE LA PHOTOTHÈQUE
CORRESPONDANT À UNE PLAQUE DE VERRE REPRÉSENTANT LE CHÂTEAU DE PIERREFONDS DANS L'OISE

© CROSLAND 2020

Pamela NOURRIGEON > CESCM
pamela.nourrigeon@univ-poitiers.fr

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

https://cescm.labo.univ-poitiers.fr/la-documentation/phototheque/

Twitter : @PolePhototheque

Hypothèses : https://phototheque.hypotheses.org/

* Lien d'accès à la base de données Romane : http://base-romane.fr/accueil2.aspx

Le bois de cervidé, une matière première de l'artisanat du Moyen-Âge

Dès la préhistoire, le bois de cerf a été utilisé pour la réalisation de petits objets. Au Xe siècle on le trouve sous forme de petits objets à forts symboles, réservés aux hautes sociétés.

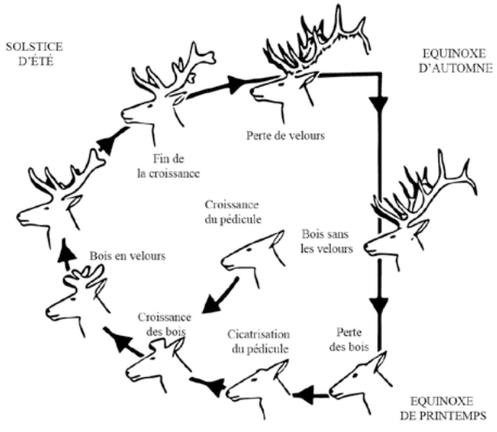
Structure osseuse paire appartenant exclusivement aux espèces de cervidés, le bois se distingue des autres matières osseuses par sa nature caduque et par une ramification plus ou moins importante.

UNE COMPOSITION POUR DE MULTIPLES FONCTIONS

Il constitue l'apanage des mâles de cette famille. Il est alors un acteur important dans les périodes de reproduction, dans la diffusion de phéromones et dans la mise en place d'un territoire. Il est un organe essentiel dans la vie de l'animal. Une exception existe néanmoins : les rennes femelles portent également des bois, mais ces derniers sont de plus petites dimensions.

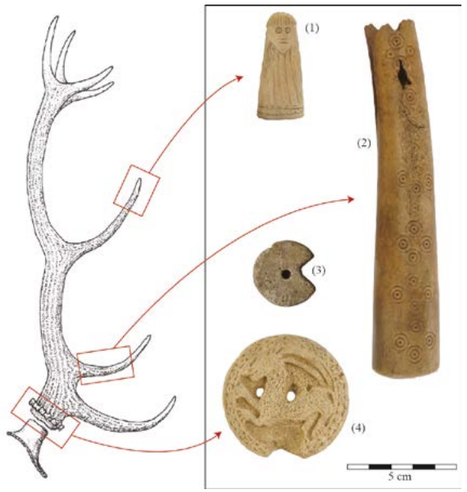
Se développant à partir de protubérances osseuses, appelées pivot, situées au niveau de l'os frontal, le bois apparaît dès la première année de vie de l'animal. Lors des premières étapes de son développement, il se recouvre rapidement d'une fine couche de duvet fortement vascularisé, appelée velours. Ce dernier permet l'apport des nutriments nécessaires à la croissance du bois. Une fois la taille maximale atteinte par le bois, l'ossification est terminée et le sang ne circule plus, le velours sèche et tombe en lambeaux. Cette étape correspond généralement à la période de rut de l'animal, durant laquelle le mâle se bat à l'aide de bois non vascularisé. À la fin de celle-ci, le bois tombe, se nécrosant au niveau de la base du bois, ou meule, et repousse l'année suivante en devenant plus complexe. De manière générale pour les espèces d'Europe occidentale, le cerf perd ses bois entre février et mars, le daim entre avril et mai, et le chevreuil entre octobre et novembre.

D'un point de vue compositionnel, le bois de cervidé est constitué de trois couches bien spécifiques, mais peu différenciées. En partie externe, il est recouvert d'une couche de tissu osseux compact et dense. Cette dernière protège un tissu osseux plus poreux et alvéolaire, ou os spongieux,



© M.-H. Crigel, M. Baillgand et E. Heinen, 2001

Cycle de croissance du bois de cerf.



Dessin du bois de cerf © A. Billambozc, 1979 - Photographies © H. Sarmento Pedro.

Exemples d'usage du bois de cervidé durant le second Moyen-Âge. (1) Cavalier d'échecs, donjon de Gouzon, Chauvigny, XIIe siècle ; (2) Manche de peigne, Château du Mans, XIe-XIIe siècle ; (3) Noix d'arbalète, XIe-XIIIe siècle, Maison-forte de Chiré-en-Montreuil ; (4) Pion de jeu transformé, Château de Brûlon, XIe-XIIe siècle.

présent dans l'ensemble du bois à l'exception des pointes et de la meule. À l'inverse de l'os, les deux tissus ne sont pas distincts par la transition nette de la cavité médullaire, mais par une transition graduelle. Cette gradation est appelée zone de transition, mêlant les caractéristiques des deux couches précédentes.

Enfin, en raison de sa composition chimique combinant une portion minérale (minéraux d'hydroxyapatite) et une portion organique (eau et collagène), le bois de cervidé présente des qualités mécaniques importantes. Tout d'abord, la ramure possède une grande résistance à la déformation physique et une dureté plus importante que l'os, du fait de son utilisation durant la vie de l'animal. Il s'agit aussi d'un matériau élastique et résilient, c'est-à-dire qu'il possède une grande capacité à absorber les chocs.

UN USAGE VARIÉ À TRAVERS LE TEMPS

Toutes ces caractéristiques mécaniques ont entraîné son utilisation dans la fabrication d'objets divers durant toutes les périodes, historiques comme préhistoriques. Aujourd'hui encore, il est possible de voir des couteaux possédant des manches en bois de cerf sur les brocantes ou dans les marchés.

Avant de l'utiliser, il faut néanmoins le récupérer. Comme dit précédemment, le bois animal est caduc, et son approvisionnement diverge de l'os dans ce sens. En effet, les populations peuvent le récolter soit par la chasse – il est appelé bois de massacre –, soit par le ramassage – il est alors appelé bois de mue. Pour les périodes médiévales, la faible proportion d'espèces sauvages par rapport aux espèces domestiques

Représentation du cerf au Moyen-Âge.

Région Nouvelle-Aquitaine, Inventaire général du patrimoine culturel.© Rome, 2012

dans l'alimentation indiquerait un approvisionnement plus important par la seconde possibilité. Dans ce dernier cas, cela impliquerait une connaissance approfondie de la nature, et une activité saisonnière de récupération des bois.

Une fois le bois récupéré par l'artisan, ce dernier peut le transformer à l'aide d'un outillage varié, tranchant, abrasif, ou contondant. Il est déjà utilisé durant les périodes préhistoriques dans la fabrication d'une grande diversité d'objets, comme les pointes de sagaie et de flèches, les éléments de parure, les perles, et autres. Son usage perdure durant l'Antiquité et la première moitié du Moyen Âge, même s'il semble qu'il soit majoritairement réservé à certaines productions comme les amulettes ou les peignes.

> "...symbole christique, apparaissant dans les bestiaires médiévaux comme représentant Dieu, le Christ, et donc le roi et ses sujets."

À la seconde moitié du Moyen Âge, entre le Xe et le XVe siècle, le bois de cervidé est usité dans plusieurs catégories d'objets, peut-être en lien avec les élites. Durant cette période, il est alors utilisé dans la fabrication d'éléments de loisirs, d'objets de toilette ou encore de pièces d'armement. Les loisirs sont rattachés à des pièces de jeu exceptionnelles : pions de tric-trac, jeu considéré comme l'ancêtre du backgammon, ou encore pièces d'échecs. Les objets de toilette sont constitués, comme pour les périodes précédentes, de peignes uniquement. Enfin, les caractéristiques mécaniques du bois permettent son utilisation dans la production de pièces d'arbalètes comme la détente ou la noix, deux éléments du mécanisme de tir.

UNE PRODUCTION DÉDIÉE AUX ÉLITES ?

Plusieurs questions perdurent quant à l'usage du bois de cervidé durant la seconde moitié du Moyen Âge, notamment celles entourant son lien possible avec les élites médiévales. Le cerf est un animal gardé dans de grandes forêts, véritables parcs de chasse, dont l'accès est réservé aux seigneurs et aux princes. De la même manière, la vénerie, ou chasse à courre, est uniquement pratiquée par les hautes strates de la société. Il s'agit aussi, comme de nombreux autres animaux, d'un symbole christique, apparaissant dans les bestiaires médiévaux comme représentant Dieu, le Christ, et donc le roi et ses sujets. Ainsi, l'animal, durant sa vie, possède un rapport fort avec les grandes élites.

Par sa nature réservée, l'acquisition des bois en devient un sujet particulier. La différence entre bois de mue et bois de massacre est très difficile à observer lors de l'étude d'objets archéologiques. L'approvisionnement est donc d'autant plus complexe à déterminer. Toutefois, comme dit précédemment, le gibier constitue une faible portion de l'alimentation médiévale, impliquant donc une acquisition lors de la mue. Les cervidés étant réservés dans les grandes forêts comtales ou ducales, se pourrait-il que l'approvisionnement soit géré par les élites ? Malheureusement, les sources historiques ne sont pas non plus parlantes à ce sujet.

Les types de productions médiévales en bois de cervidé semblent restreints aux jeux, aux peignes et aux pièces d'arbalète. Les premiers sont généralement rattachés à l'univers des élites, le tric-trac et les échecs leur étant réservés. Les derniers sont à mettre en lien avec la guerre, ou avec la vénerie. Si la guerre peut être pratiquée par tout un chacun, il n'en est pas de même pour la chasse. Enfin, les peignes possèdent la particularité de pouvoir être utilisés par toutes les strates de la population. La mise en parallèle de l'ensemble des données semble donc tendre vers l'utilisation de ce matériau dans la production d'objets pour les élites.

Henrique SARMENTO-PEDRO < CESCM
henrique.sarmento.pedro@univ-poitiers.fr
https://cescm.labo.univ-poitiers.fr/

Le plomb de Notre-Dame passe à l'analyse

Le spectaculaire incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris le 15 avril 2019 a fourni une opportunité unique d'accéder à des matériaux qu'il n'aurait pas été possible d'étudier dans les conditions habituelles de la recherche. L'IRAMAT-CEB à Orléans est impliqué dans l'enquête scientifique qui s'est engagée sur la cathédrale, par l'analyse de ses métaux.

APRÈS L'INCENDIE, LE TEMPS DE LA RECHERCHE

Nous gardons tous en tête les images saisissantes de l'incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris le 15 avril 2019. Encore sous le choc, la communauté scientifique s'est très rapidement organisée, avec la constitution de l'Association des Scientifiques au service de la restauration de Notre-Dame de Paris dès le lendemain de la catastrophe. Peu après, le CNRS, sous l'égide de la MITI (Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires) et le Ministère de la Culture, ont mis en place un chantier scientifique visant à structurer et coordonner les actions de recherche menées sur la cathédrale Notre-Dame. Ce chantier scientifique est constitué de huit groupes de travail, parmi lesquels quatre portent sur des matériaux : « Bois et charpente », « Verre », « Pierre » et « Métal ». C'est dans le cadre de ce dernier groupe de travail que l'IRAMAT-CEB intervient. L'équipe interdisciplinaire du groupe de travail Métal, forte de 15 membres, rassemble des chercheurs du CNRS, de plusieurs universités et du Ministère de la Culture, tout particulièrement par l'implication du LRMH (Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques). Les travaux, conduits de manière interdisciplinaire et en coordination entre les différentes spécialités, portent sur deux aspects principaux : d'une part, les études environnementales, en particulier autour de la question de la pollution au plomb induite par l'incendie ; d'autre part, une approche archéologique des métaux, visant à comprendre leur mise en œuvre dans l'édifice, et les stratégies d'approvisionnement des chantiers de construction et de restauration. L'expertise de l'IRAMAT-CEB porte sur deux types d'analyse : la composition du plomb, et le dosage des éléments traces dans les inclusions vitreuses contenues dans le fer. En effet, bien que les édifices monumentaux que sont les cathédrales gothiques semblent au premier regard exclusivement constitués de pierre et de verre, le rôle structurel et fonctionnel du métal apparaît fondamental. Le fer est employé pour maintenir la cohésion de l'édifice, tout particulièrement par la mise en place de chaînages, tandis que le plomb est destiné à différents usages, le plus important en termes de quantité étant celui de la couverture de la cathédrale. Et si les études en cours sur le fer de Notre-Dame constituent le prolongement de recherches sur les édifices gothiques engagées depuis plusieurs décennies, il s'agit pour le plomb de travaux pionniers, tant dans leur approche que dans leur ampleur.

LE PLOMB DANS LES CATHÉDRALES GOTHIQUES

Le plomb n'a été que très peu étudié dans les grands monuments médiévaux que sont les cathédrales gothiques. L'incendie de Notre-Dame représente à cet égard une opportunité scientifique unique, par la disponibilité d'échantillons nombreux, la mobilisation d'un nombre important de chercheurs de différentes spécialités et l'obtention de moyens financiers exceptionnels. Ainsi, le plomb de la cathédrale peut être envisagé selon plusieurs axes de recherche pour répondre à différents enjeux : histoire des techniques, archives, analyses de composition, études environnementales…

Tables en plomb du transept.

Inventaire des éléments métalliques sur le chantier.

> "...le plomb était... mobilisé... pour... la couverture des édifices prestigieux."

La question des réseaux d'approvisionnement est centrale et mobilise de nombreuses spécialités : car si leur compréhension dans le cadre des restaurations des XIX^e^ et XX^e^ siècles peut s'envisager avec la précieuse contribution des sources écrites (statistiques de production, d'importation…), les phases de construction médiévales ne bénéficient pas d'une telle documentation. C'est par la compréhension de l'édifice et par l'étude du matériau lui-même, tout particulièrement à travers son analyse, que ces réseaux d'approvisionnement pourront être appréhendés, voire des sources minières mises à contribution identifiées. La question du recyclage apparaît en outre fondamentale : en effet, aux époques anciennes, le plomb était un sous-produit de l'argent destiné à la fabrication monétaire, abondamment produit et mobilisé dans de très grandes quantités dans les espaces urbains, en particulier pour les réseaux d'adduction et la couverture des édifices prestigieux. Son recyclage fréquent, qui répond notamment à des questions d'ordres logistique et pratique est en outre facilité par son point de fusion très bas (327 °C). La continuité des savoirs et des transferts techniques est un aspect qui sera également envisagé, par l'étude conjointe d'autres édifices datés de la même période, au sein du domaine royal et le long des grands axes de communication (cathédrales de Troyes, de Bourges, de Rouen, collégiale de Mantes-la-Jolie…).

L'ANALYSE DU PLOMB : MÉTHODOLOGIE ET ENJEUX

L'analyse du plomb de Notre-Dame a en premier lieu nécessité de réaliser des prélèvements sur le chantier. Une première difficulté était liée aux conditions de sécurité découlant du risque d'effondrement de certaines parties fragilisées de la cathédrale, et au risque de contamination au plomb, qui a contraint l'ensemble des personnes qui y ont travaillé à s'équiper de combinaisons de protection et de systèmes de respiration artificielle. La deuxième difficulté était d'ordre pratique : il s'agissait de parvenir à réaliser des prélèvements, aussi nombreux et représentatifs que possible, en accompagnant les travaux de déblaiement. Ainsi, les échantillons prélevés proviennent autant d'éléments en place dans les hauteurs de l'édifice, que de pièces ou de fragments tombés au sol et parfois partiellement fondus.

Par la suite, les échantillons de plomb de Notre-Dame ont fait l'objet de deux campagnes d'analyses élémentaires de composition à l'IRAMAT-CEB en 2020. A ce jour, près de 300 analyses ont été réalisées, dont les interprétations en cours mettent en évidence des corrélations intéressantes entre les concentrations de certains éléments mineurs et traces avec la nature des échantillons, leur localisation dans la cathédrale et leur association supposée avec une phase de construction ou de restauration, permettant de relire l'avancée du chantier de l'édifice. En complément, des analyses des rapports isotopiques du plomb sont prévues dans un autre laboratoire au cours du premier semestre 2021. Elles permettront de compléter la signature géochimique des échantillons de plomb de Notre-Dame, voire de confirmer les interprétations proposées sur la base des analyses élémentaires. Le lien entre les groupes identifiés par l'approche combinée entre l'étude architecturale, les analyses et les mines de plomb exploitées aux époques de construction et de restauration sera ensuite examiné. Avec l'apport des résultats portant sur le bois, le verre, la pierre et le fer, les chantiers de construction et de restauration de la cathédrale Notre-Dame pourront ainsi être insérés dans la perspective plus globale des réseaux de circulation des matières premières au Moyen Âge et à l'époque moderne. Les résultats de ces recherches interdisciplinaires devraient également contribuer à l'orientation du projet de restauration en cours d'élaboration par la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage pour accompagner la cathédrale dans sa renaissance.

Plombs de scellement d'agrafes en fer dans le mur bahut du chœur.

Guillaume SARAH < IRAMAT-Centre Ernest Babelon
guillaume.sarah@cnrs-orleans.fr

Maxime L'HÉRITIER < Université Paris 8 - ArScAn
maxime.l_heritier@univ-paris8.fr

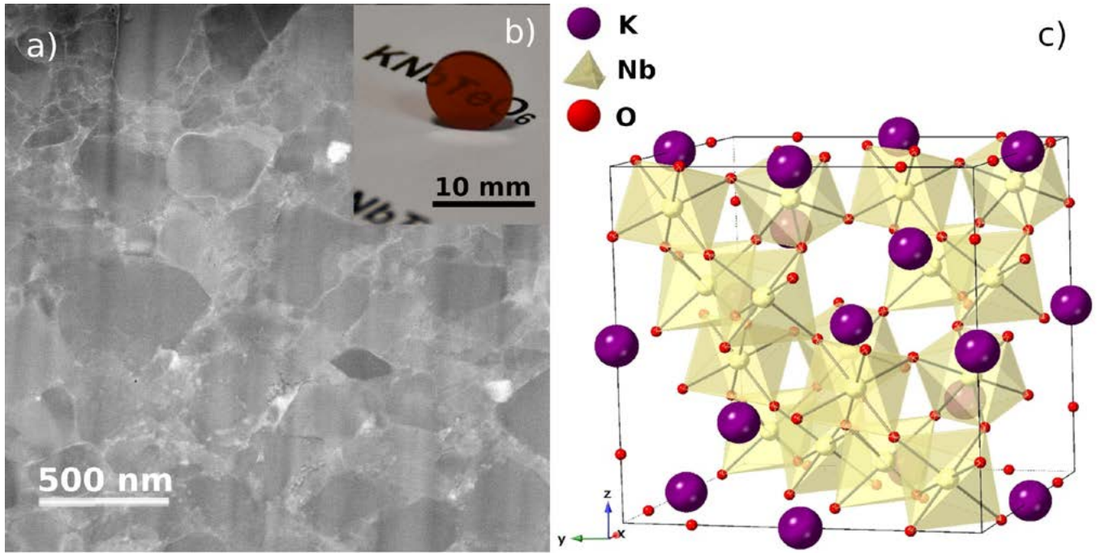
Aurélia AZÉMA < LRMH
aurelia.azema@culture.gouv.fr

Delphine SYVILAY < LRMH
delphine.syvilay.ext@culture.gouv.fr

http://www.iramat-ceb.cnrs-orleans.fr/spip/

Oxydes de tellure : une diversité de matériaux pour l'optique

La découverte de céramiques transparentes a été un événement majeur, notamment pour leurs qualités optiques. Aujourd'hui, un accroissement des performances de ces matériaux se dessine avec l'usage d'oxydes de tellure.



Observation de la nanostructure d'une céramique tellurate transparente $KNbTeO_6$ par microscopie électronique à transmission (a), sa photographie (b) ainsi qu'une représentation de sa structure cristalline (c).

De nouveaux matériaux à base d'oxydes de tellure, destinés à des applications optiques, voient le jour à l'Institut de Recherche sur les Céramiques (IRCER UMR 7315 CNRS/Université de Limoges) à Limoges. Ils se déclinent de la vitrocéramique à la céramique. La recherche systématique d'un haut degré de transparence des objets finaux constitue un réel challenge.

DE NOUVEAUX MATÉRIAUX PROMETTEURS POUR LA PHOTONIQUE

Elaborer de nouveaux matériaux, comprendre l'organisation multi-échelle de la matière, mesurer leurs propriétés physiques (notamment optiques), sont les activités de recherche de l'équipe « Verres et (Vitro) céramiques » de l'IRCER. L'objectif est de démontrer le potentiel de ces matériaux dans certaines applications liées aux Technologies de l'Information et des Communications (TIC).

Les oxydes de tellure se divisent en matériaux tellurites et tellurates. Ils retiennent tout particulièrement le champ d'investigation de l'IRCER depuis de nombreuses années, et ce, à travers leurs diverses applications dans les domaines de la photonique et des télécommunications. Les nouveaux matériaux oxydes et oxyfluorures sont obtenus par un traitement thermique de cristallisation de ces verres.

Les tellurites correspondent à des matériaux dérivant du dioxyde de tellure. Par rapport aux verres (matériaux non cristallins) à base de silice, que l'on retrouve dans de nombreuses applications (fibres optiques pour les télécommunications courtes et longues distances, verres plats pour les vitres et miroirs…), ces matériaux tellurites vitreux présentent des intérêts spécifiques. En particulier, ils possèdent un fort indice linéaire de réfraction et une transparence optique dans la première fenêtre infrarouge de l'atmosphère (i.e. la fenêtre 3-5 µm). Ceci permet d'envisager des applications ciblées pour des lentilles infrarouges intégrées dans les caméras d'imagerie pour l'assistance à la conduite nocturne, pour l'imagerie médicale, ou encore pour la détection de rayonnements thermiques (circuiterie électrique en surchauffe, aide au diagnostic de déperdition thermique).
La fabrication des verres tellurites repose sur un mélange intime des précurseurs pulvérulents (sous forme de poudres) porté à la fusion à des températures avoisinant les 800 - 900°C. Le mélange liquide (souvent un peu visqueux) subit ensuite une trempe thermique (refroidissement brutal), permettant ainsi l'obtention des matériaux vitreux.

DES VITROCÉRAMIQUES INNOVANTES

Les vitrocéramiques se décrivent quant à elles par une matrice vitreuse au sein de laquelle sont dispersés des cristaux. Certaines propriétés, comme leur résistance mécanique, sont d'ailleurs améliorées, et de nouvelles propriétés peuvent émerger par la présence des cristaux. Les vitrocéramiques sont notamment réputées pour leur utilisation comme plaques de cuisson, mais on trouve aussi d'autres applications de pointe (ex : miroirs géants de télescopes).

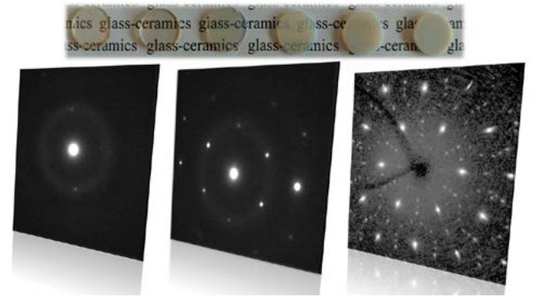


Illustration de nouveaux matériaux oxyfluorures : du verre (à gauche) à des vitrocéramiques plus ou moins cristallisées et transparentes (à droite). Clichés de diffraction électronique représentés en dessous attestant de la cristallinité des échantillons.

Une vitrocéramique est classiquement obtenue par cristallisation contrôlée d'un verre, via des traitements thermiques adaptés (température et temps adéquats), et il s'agit donc de maîtriser les étapes de nucléation (formation de germes/nuclei) et de croissance des cristaux.

DES CÉRAMIQUES TELLURITES ET TELLURATES

Un exemple de travaux réalisés à l'IRCER sur des vitrocéramiques fluorotellurites a permis de mettre à jour de nouvelles vitrocéramiques fortement transparentes dans le proche et moyen infrarouge. L'incorporation d'ions thulium, une terre rare, dans de telles vitrocéramiques a par ailleurs conduit à obtenir une émission de lumière efficace, dans l'infrarouge autour de 2 µm pour d'éventuelles applications dans le domaine militaire ou médical.

> "...une opportunité exceptionnelle pour suivre les réorganisations structurales et microstructurales..."

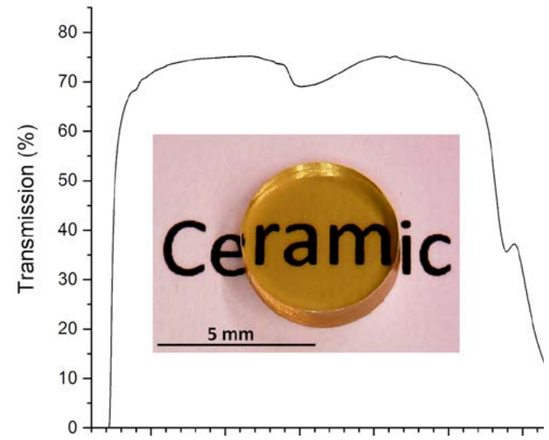
En 2012, le laboratoire Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation (CEMHTI UPR 3079) à Orléans a mis au point une nouvelle méthode de cristallisation totale et congruente (même composition chimique) du verre. Cette technique admirable de « simplicité », permet l'obtention de céramiques totalement transparentes, par un traitement thermique adapté du verre.

En 2016, l'IRCER est parvenu à transposer cette découverte, en élaborant les premières céramiques transparentes tellurites. Des céramiques massives atteignant 6 cm de diamètre ont même pu être fabriquées et mises en forme grâce à des températures d'élaboration du verre plus basses. De tels matériaux offrent en outre une opportunité exceptionnelle pour suivre les réorganisations structurales et microstructurales se déroulant lors des transformations de la matière, qui correspondent au passage du verre vers la céramique. De plus, l'excellente transparence de ces céramiques a permis la démonstration d'effets lasers (émissions stimulées de lumière) dans ces nouveaux matériaux.

Les tellurates correspondent à des matériaux dérivés du trioxyde de tellure. Ce type de composés est déjà plus rare et conduit à des matériaux pour lesquels il est escompté atteindre une transparence accrue vers le moyen infrarouge.

Au sein de l'équipe, des poudres cristallines d'une nouvelle composition chimique ($KNbTeO_6$) ont ainsi été synthétisées ces dernières années. Ces poudres subissent des étapes successives de broyage par attrition (fragmentation de la matière induite par le frottement de billes composées d'un matériau de grande dureté : zircone), de manière à obtenir des poudres de dimensions nanométriques, ou tout du moins submicroniques. Elles sont ensuite compactées à l'extrême, en employant des techniques qualifiées de « frittage flash » afin de supprimer la porosité résiduelle et conduisant au final à des céramiques transparentes jusque dans l'infrarouge (jusqu'à 5µm), avec de bonnes propriétés mécaniques comparables à celles de céramiques réfractaires comme l'yttrine.

Ces exemples illustrent parfaitement la richesse offerte par les oxydes de tellure en terme de science des matériaux. D'autres compositions vitrocéramiques et céramiques sont en cours d'études à l'IRCER afin d'envisager de nouvelles applications orientées vers le diagnostic médical telle que la dosimétrie.



Photographie d'une céramique massive tellurite du système chimique TeO_2-Bi_2O_3-Nb_2O_5, ainsi que son spectre de transparence optique.

Sébastien CHENU < IRCER
sebastien.chenu@unilim.fr
Gaëlle DELAIZIR < IRCER
gaelle.delaizir@unilim.fr
Jean-René DUCLERE < IRCER
jean-rene.duclere@unilim.fr
https://www.ircer.fr/

La transdisciplinarité au service de la conception d'implants innovants « éphémères »

Les laboratoires d'excellence mettent en synergie des équipes de recherche sur des projets innovants. L'amélioration de la santé des populations par des diagnostics et des thérapies de pointe est l'un des projets du Labex ∑-LIM à Limoges et Poitiers.

L'Institut XLIM et l'IRCER mutualisent dans le Labex ∑-LIM d'importantes ressources pour lever un certain nombre de verrous scientifiques, notamment pour la santé et la médecine. L'un des défis dans ces domaines est d'apporter des réponses aux besoins de traitement de pathologies osseuses variées pour lesquelles il n'existe pas de solution satisfaisante à l'heure actuelle.

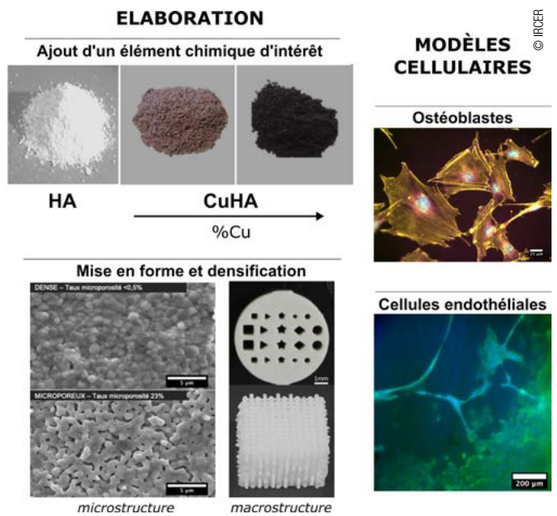
Le projet "Promoting health with advanced diagnostics and therapies", correspondant à l'un des 4 flagships du LabEx ∑-LIM, porte sur le développement de dispositifs céramiques poreux implantables pour l'ingénierie des tissus osseux. L'idée est de concevoir des implants innovants « éphémères » qui serviraient uniquement de support à la repousse de l'os jusqu'à sa régénération complète, et disparaîtraient ensuite.

UN SUJET TRANSDISCIPLINAIRE

Au carrefour de l'ingénierie et de la médecine, le développement de ces dispositifs céramiques comprend la définition de leur composition chimique, de leur architecture à porosité multi-échelle et de leur fonctionnalisation par des molécules d'intérêt pour stimuler l'activité cellulaire. Il nécessite une connaissance approfondie des processus biologiques qui se produisent à l'interface matériau/cellules et qui conditionnent la formation de nouveaux tissus. L'approche mise en place pour mener ce projet transdisciplinaire fédère les compétences en procédés céramiques, biologie cellulaire et physiologie de l'IRCER et celles en biophotonique et intelligence artificielle d'XLIM. La microscopie multiphotonique et vibrationnelle pour une imagerie *in vivo* est notamment mise en œuvre pour la caractérisation cellulaire et tissulaire au contact des céramiques. Des outils analytiques et numériques complémentaires pour la modélisation et la prédiction des processus biologiques sont construits à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique. Des chimistes, des physiciens, des biologistes, des informaticiens, des mathématiciens, unissent leur expertise dans ces multiples étapes conduisant à la conception et à la production d'un matériau novateur.

UNE TECHNOLOGIE DE POINTE

Les céramiques développées sont à base d'hydroxyapatite (HA), un phosphate de calcium dont la composition chimique est très proche de la composante minérale de l'os. L'HA est un biomatériau utilisé en médecine comme substitut osseux pour ses propriétés biologiques passives. Biocompatible : l'HA ne présente pas de toxicité, ni n'induit de réaction non désirée ; ostéoconductrice : les cellules osseuses et leurs précurseurs peuvent adhérer à la surface de l'HA sans que cela ne modifie leur capacité à produire de l'os *in fine*. Ces propriétés ne sont cependant pas suffisantes. L'innovation repose sur la levée de cette passivité en conférant aux dispositifs implantables une activité biologique au sens littéral. Pour ce faire, leurs propriétés physico-chimiques sont modifiées

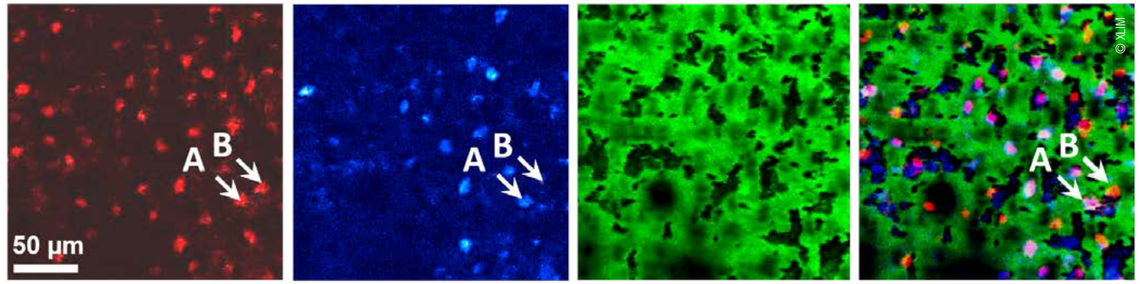


Optimisation de biocéramiques à base d'hydroxyapatite pour l'ingénierie tissulaire osseuse : leviers d'action lors de l'élaboration et modèles cellulaires permettant l'évaluation de leurs propriétés biologiques.

à différents niveaux afin qu'ils recrutent des cellules souches et/ou induisent leur différenciation en cellules osseuses matures et fonctionnelles. Sans une vascularisation (formation de vaisseaux sanguins) satisfaisante, cette ostéoinductivité pourrait pourtant avoir des effets limités. Ces nouveaux dispositifs doivent donc également agir sur les cellules impliquées dans la vascularisation (angiogénicité). Cette stratégie pourrait s'avérer d'autant plus intéressante que ces différents types de cellules peuvent se co-stimuler. Dernière propriété à conférer, et non des moindres, la résorption du biomatériau à une vitesse équivalente à celle de la repousse osseuse : éphémère, le matériau laisserait la place à l'organique et répondrait à l'idéal de l'Homme réparé.

LA RECONSTRUCTION OSSEUSE À LA LOUPE…

Les cellules osseuses étant sensibles à leur microenvironnement tant physique que chimique, la conception des biomatériaux céramiques nécessite une compréhension fine des phénomènes survenant à l'interface matériau-vivant. Pour étudier ces phénomènes, différentes techniques d'imagerie optique avancée sont mises en œuvre dans le cadre de ∑-LIM, telles que la microscopie multiphotonique ou la microspectroscopie vibrationnelle dite « Raman cohérent ». L'intérêt de combiner plusieurs techniques réside dans la richesse de l'information collectée sur l'échantillon, à la fois structurelle et fonctionnelle, et ce à l'échelle cellulaire et tissulaire. En effet, il est possible de révéler, simultanément et sans marquage préalable, la présence de



Imagerie de l'os pariétal (os du crâne) de la souris par microscopie multimodale (multiphotonique et vibrationnelle). Visualisation (de gauche à droite) de l'HA (en rouge), des ostéocytes (cellules osseuses, en bleu), de la matrice de collagène (en vert) et des trois constituants superposés. Au point A, présence conjointe d'HA et d'un ostéocyte ; au point B : présence d'HA principalement.

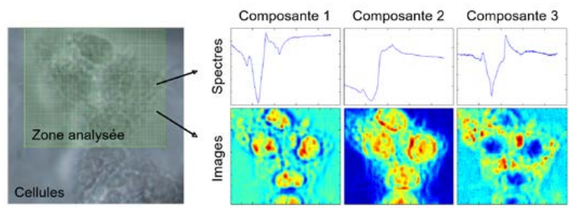
biomolécules autofluorescentes (*e.g.* élastine, porphyrine), de molécules non centrosymétriques (*e.g.* collagène), de molécules actives en Raman (*e.g.* lipides, protéines, HA) ou encore d'interfaces comme les membranes cellulaires : on parle d'approche multimodale. Celle-ci s'appuie notamment sur l'excitation de l'échantillon dans le proche infrarouge au moyen d'une source laser de type « supercontinuum », à spectre d'émission ultra large.

"...créer des modèles numériques capables de prévoir ... l'évolution à venir des tissus..."

À titre d'exemple, la microspectroscopie multimodale a permis de réaliser l'imagerie sans marquage d'un fragment d'os pariétal de souris, en mettant en évidence simultanément l'HA, les cellules (ostéocytes) et la matrice de collagène. De premières expériences de microscopie multiphotonique *in vivo* ayant par ailleurs été conduites en présence de marqueurs fluorescents, l'objectif est maintenant de faire converger ces travaux et d'étudier, sur le petit animal, les phénomènes de reconstruction osseuse à l'interface matériau-vivant.

… AVEC L'AIDE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

A partir de l'observation de la reconstruction osseuse au travers de systèmes d'imagerie innovants, il s'agit enfin d'extraire des caractéristiques qui vont distinguer au mieux la qualité de la réparation. Il faut pour cela une caractérisation numérique fine des tissus et des structures observés. Cette étape nécessite le déploiement de stratégies



Optimisation de la représentation de l'information par analyse en composantes principales.

issues de l'informatique visuelle (computer vision) intégrant pleinement les dernières avancées liées à l'intelligence artificielle et présente de nombreux défis. L'un des principaux challenges tient au faible nombre de données (d'exemples) analysés au préalable par un expert humain. Ce contexte bien particulier est toutefois l'une des contraintes des systèmes modernes d'apprentissage machine. Le processus devra répondre à la fois à la question de la délimitation surfacique et de la caractérisation des zones.

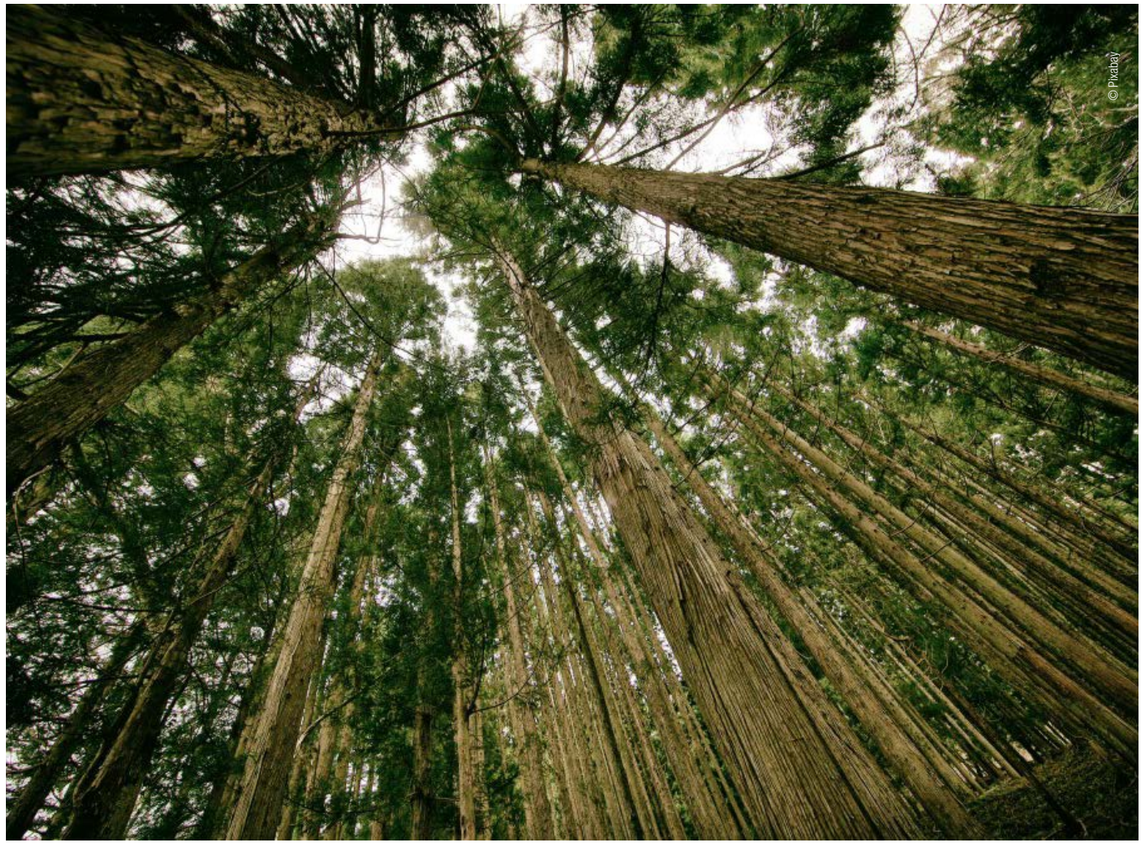
Le second volet d'application de l'intelligence artificielle concerne l'analyse au cours du temps de la transformation des tissus. Il s'agit alors de créer des modèles numériques capables de prévoir, ou tout du moins de donner des indications sur l'évolution à venir des tissus, connaissant une certaine configuration (la structure initiale observée). Ce volet se situe pleinement dans l'aide au diagnostic, dans l'optimisation des structures pour obtenir le meilleur résultat possible.

Au-delà de la chirurgie osseuse, l'ambition de ∑-LIM est d'appliquer la gestion de masses de données contextuelles (big data) à la caractérisation dans le temps de tout tissu vivant pour le diagnostic précoce de cancers et de pathologies chroniques. Ces méthodes avancées de diagnostic seront développées sur la base des technologies et outils conçus ici pour l'analyse et la caractérisation de cellules et tissus osseux.

Amandine MAGNAUDEIX < IRCER
amandine.magnaudeix@unilim.fr
Éric CHAMPION < IRCER
eric.champion@unilim.fr
Philippe LEPROUX < XLIM
philippe.leproux@unilim.fr
Philippe CARRE < XLIM
philippe.carre@univ-poitiers.fr
https://www.ircer.fr
https://www.xlim.fr

BioseDev, une startup qui broie du vert

Valoriser des déchets sans en produire de nouveaux : c'est le crédo de la jeune start-up poitevine BioseDev issue d'un laboratoire de chimie et géosciences.



Une des multiples sources de biomasse exploitable

Face à l'augmentation des gaz à effet de serre (CO_2 en particulier) et l'atteinte croissante aux écosystèmes, des solutions doivent être trouvées afin d'enrayer le changement climatique. Une problématique majeure est le remplacement des ressources fossiles (pétrole, gaz …) dans l'industrie chimique par des matières premières renouvelables (bois, algues, céréales…).

"... à la demande des consommateurs, les entreprises cherchent activement des substituts aux produits pétrosourcés."

Ces matières issues de la biomasse, si elles sont gérées de manière durable, créent un cercle vertueux du carbone (constituant majeur des produits du quotidien). La biomasse stocke le carbone sous forme de polymères naturels (comme la cellulose contenue dans le bois, l'amidon contenu dans les céréales…) qui peuvent être employés dans l'industrie chimique. Des produits d'usages sont ainsi créés à partir de ressources naturelles et peuvent de nouveaux contribuer à la création de biomasse en fin de vie du produit à condition qu'il soit biodégradable.

UNE BIOMASSE À FAIBLE EMPREINTE ÉCOLOGIQUE

Il y a cependant des prérequis à l'utilisation de ce carbone renouvelable qui vont de la production, de la transformation jusqu'au devenir des produits après utilisation finale. La biomasse doit être produite de manière écoresponsable dans le but de préserver les milieux naturels sans utilisation d'intrants nocifs pour l'environnement. L'origine et la traçabilité de la matière représentent également deux critères indispensables. L'emploi de ressources locales semble être la solution la plus pertinente face à ce critère afin de limiter la consommation énergétique liée au transport (empreinte carbone de la matière première). De plus, la transformation de ces biomasses en produits semi-finis ou finis a nécessité de répondre à deux problématiques : la concordance avec la transition écologique et l'adéquation technico-économique.

VALORISER LES SUCRES DE LA BIOMASSE

La biomasse contient jusqu'à 70 % de sucres sous la forme de fibres. Ces fibres contiennent des molécules d'intérêt mais n'étant pas solubles dans l'eau elles doivent être coupées en plus petites molécules pour être utilisables. Les procédés actuels pour arriver à ces molécules sont soit très polluants, soit très couteux.

UN PROCÉDÉ NOVATEUR PROPRE : LA MÉCANOCHIMIE

Pour s'affranchir de ces limitations, la mécanochimie se présente comme une nouvelle alternative catalytique en permettant le broyage à haute énergie. Le principe de la technologie consiste en un broyage mécanique à l'aide de billes en mouvement planétaire couplé à de la catalyse chimique (1 à 2 %). La biomasse est décomposée grâce à un apport très important d'énergie et de manière extrêmement localisé. Le procédé n'utilise ni eau, ni solvants souvent volatils et toxiques. Les réactions se font à température ambiante. Ainsi, il n'y a aucun effluent ou produit non dégradable à retraiter. Le marché de la cosmétique est sensible à cette approche permettant de préserver la naturalité des matières végétales. A la sortie du broyeur, l'odeur de la matière première végétale est préservée.

Copeaux de bois avant broyage

En ce qui concerne la matière première à traiter, le procédé développé permet d'utiliser tout type de biomasse disponible localement comme celle issue des scieries ou des producteurs de roseaux dont la récolte est nécessaire au maintien des zones humides. Cette technologie totalement flexible transforme des coproduits lignocellulosiques, des dérivés d'algues ou encore des champignons. Plusieurs collaborations avec de grands acteurs de la cosmétique, de l'agriculture ou de l'agroalimentaire ont déjà été mises en place. En effet, à la demande des consommateurs, les entreprises cherchent activement des substituts aux produits pétrosourcés.

VERS UNE INDUSTRIALISATION RAPIDE

BioseDev a choisi dans sa première année de donner l'accès à sa technologie novatrice aux industriels sous la forme de prestations de services. Le but était de démontrer l'efficacité de son procédé dans de nombreuses applications. En effet, les oligosaccharides peuvent remplacer des additifs alimentaires tels que le dioxyde de titane (E171) ou être à l'origine d'émulsifiants verts issus par exemple de la pulpe de

Poudre de bois après broyage contenant les sucres. BioseDev vient de se doter d'un broyeur planétaire destiné à traiter 1kg de matière, permettant à leurs clients de tester l'additif dans leurs préparations.

betterave ou de la poudre de chanvre. À noter que le E171 bien qu'interdit en France dans le domaine agroalimentaire, est encore utilisé en Europe. Plusieurs projets avec des industriels de renom ont déjà abouti à des résultats extrêmement prometteurs. Malgré la crise du coronavirus, BioseDev a pu générer un peu de chiffre d'affaires qu'il a réinvesti avec l'aide d'une subvention de la Région Nouvelle Aquitaine dans l'achat d'un broyeur de plus grande capacité. Ce broyeur va permettre de fournir des lots pilotes, une étape essentielle vers l'industrialisation du procédé.

Cependant, le dispositif, pour être développé à l'échelle industrielle, nécessite de réaliser une montée en échelle de la production (largement supérieure à 300-400 kg). Pour y parvenir, les chercheurs étudient un partenariat avec un industriel équipé d'un broyeur planétaire en continu. Cela permettra de répondre aux marchés de niche dans la cosmétique et dans l'agroalimentaire.

Créée il y a un an et actuellement hébergée à l'Université de Poitiers, BioseDev s'appuie sur le savoir-faire acquis durant la thèse de l'un de ses fondateurs à l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP – UMR 7285 CNRS/Université de Poitiers) pour exploiter pleinement le potentiel de cette technologie. D'où l'idée d'industrialiser le procédé qui allie deux qualités difficiles à réunir : l'efficacité et la durabilité. Ce projet a su convaincre la Technopole Grand Poitiers qui l'accompagne dans la création d'une SAS (société par actions simplifiées) et a orienté les deux fondateurs dans le montage de leur business model.

Florent BOISSOU < BIOSEDEV
florent.boissou@biosedev.com

Julien SOUQUET-GRUMEY < BIOSEDEV
julien.souquet.grumey@biosedev.com

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

http://biosedev.com/

Un voyage dans des nuages tourbillonnants de gaz et de particules

La nocivité des panaches volcaniques est bien connue, tout comme l'impact climatique des émissions de soufre. Mais les volcans émettent également des halogènes dont les impacts atmosphériques sont en cours d'investigation grâce aux recherches inter-laboratoires.

Avril 2010, les cendres émises par le volcan islandais de Eyjafjallajökull provoquent le chaos des voyages aériens dans le monde. Automne 2014, l'éruption du Bardarbunga, aussi en Islande, libère plus de soufre que l'ensemble de l'industrie européenne, et son odeur est perçue jusqu'en Norvège. En 1783, lors de l'éruption de la fissure du Laki, une centaine de millions de tonnes de gaz toxiques se disperse dans l'hémisphère nord et cause des problèmes agricoles et une grave famine en Islande. Mais en quoi consistent réellement les émissions volcaniques ? Qu'arrive-t-il aux gaz et aux particules volcaniques lorsqu'ils passent d'un magma chaud à 1000 degrés Celsius à une atmosphère froide et riche en oxydants ? Quels sont les impacts des émissions volcaniques sur l'environnement et la santé ?

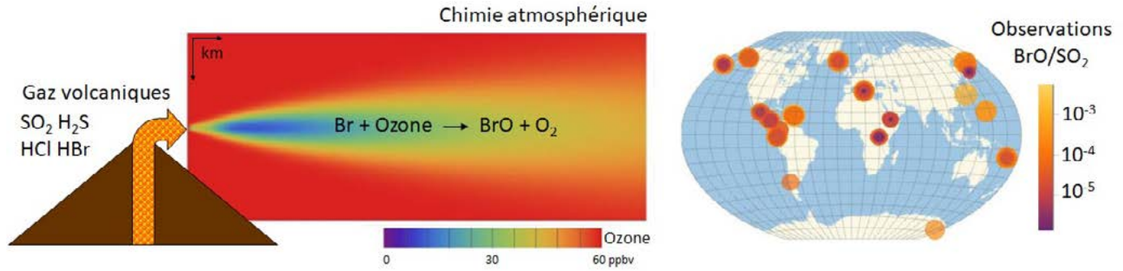
Pour approfondir ce sujet émergent, un travail à l'interface entre différentes disciplines et laboratoires est nécessaire. Des collaborations entre les laboratoires du LPC2E, ICARE, et l'ISTO dans le contexte du Labex Voltaire et d'un projet du consortium national financé par l'ANR se proposent de répondre à ces questions.

Le panache du mont Etna pendant une éruption.

UNE RÉACTIVITÉ CHIMIQUE FORTE ET SURPRENANTE

Outre les cendres, les volcans dégagent des gaz sulfureux, qui sentent l'allumette brûlée ou les œufs pourris, et des gaz halogènes, comme le chlorure et le bromure d'hydrogène, à l'odeur âcre et piquante. Une fois dans l'atmosphère, les gaz sulfureux volcaniques sont transformés en particules qui diffusent la lumière du soleil et peuvent avoir un impact sur le climat. Jusqu'à récemment, les scientifiques supposaient que les gaz halogènes émis par les volcans étaient simplement lessivés de l'atmosphère par la pluie. Cette hypothèse a été infirmée en 2003 avec la découverte d'halogènes oxydés dans les panaches volcaniques. Cela a montré que les panaches volcaniques sont des environnements très oxydants où les halogènes peuvent s'oxyder et avoir un impact sur l'atmosphère, d'une manière qui a été négligée jusque-là.

Les fumerolles du Vulcano. Déploiement sur le terrain d'instruments portables comprenant des capteurs miniatures.



Simulation numérique de la destruction de l'ozone troposphérique sous le vent d'un volcan qui émet des halogènes, et données rassemblées sur les rapports BrO/SO2 observés dans les panaches volcaniques du monde entier.

UNE CHAÎNE DE MODÈLES MULTI-ÉCHELLES POUR QUANTIFIER LES IMPACTS DES ÉMISSIONS VOLCANIQUES

Afin de mieux comprendre comment les halogènes volcaniques s'oxydent, le LPC2E et l'institut ICARE ont élaboré des modèles numériques pour simuler les réactions de chimie atmosphérique qui se produisent dans un panache volcanique. Leurs recherches montrent que les réactions chimiques à la surface des particules catalysent l'oxydation des halogènes volcaniques dans le panache. Et lorsque la lumière du soleil est présente, le modèle prédit une chaîne très rapide de réactions halogènes, qui conduit à la destruction de l'ozone atmosphérique. Ceci est important car l'ozone est un gaz clé, connu pour son rôle dans la protection contre les rayons ultraviolets nocifs mais aussi comme le précurseur du radical hydroxyle qui agit comme nettoyeur de l'atmosphère terrestre en éliminant les polluants.

"...cartographier spatialement les gaz et les particules à l'horizontale ... et à la verticale"

UN NEZ ÉLECTRONIQUE POUR QUANTIFIER LES ÉMISSIONS VOLCANIQUES

Pour évaluer les prévisions du modèle, les chimistes doivent donc effectuer des mesures sur le terrain de gaz et de particules. Le sommet du volcan est généralement atteint après une longue et périlleuse ascension. À l'arrivée, pas d'électricité (ni de café réconfortant !). L'approche est donc facilitée avec le transport des instruments de mesures et d'analyses portatifs. Il s'agit notamment d'instruments contenant des capteurs électrochimiques miniaturisés, des sortes de nez électroniques pour sentir les gaz volcaniques, comme le dioxyde de soufre, le sulfure d'hydrogène, le monoxyde de carbone et le chlorure d'hydrogène. Grâce à ces nez électroniques et à d'autres instruments portables, l'impact prévu des panaches volcaniques sur l'ozone peut être confirmé.

DU MANTEAU TERRESTRE À LA STRATOSPHÈRE

Ces recherches ont motivé la construction d'une chaîne de modèles multi-échelles, allant du cratère chaud au panache, à l'échelle régionale puis à l'échelle mondiale, pour quantifier les impacts des halogènes et du soufre sur la composition de l'atmosphère et le climat. Ces recherches sont poursuivies dans le cadre d'une collaboration entre quatre laboratoires : le LPC2E, ICARE, le CNRM/Météo-France et le LATMOS. Leurs premiers résultats montrent d'une part que le mélange des gaz volcaniques et des gaz atmosphériques est déjà très réactif à l'intérieur du cratère volcanique chaud ; d'autre part, ces travaux ont aussi dévoilé qu'il est possible que les halogènes volcaniques aient un impact, outre sur l'ozone, sur les cycles de l'azote et du mercure, et puissent modifier l'effet climatique déjà connu du soufre volcanique. Cette activité « atmosphérique » est couplée à un second objectif « terre » mené par l'ISTO et l'IMPMC sur le comportement des halogènes dans le magma et leur dégazage du manteau profond jusqu'à l'émission. L'ensemble constitue un projet de consortium VOLC-HAL-CLIM en cours, financé par l'ANR, le Labex Voltaire et la Commission européenne, qui vise à tracer « les halogènes volcaniques : des profondeurs de la Terre aux impacts atmosphériques ».

DE LA LAVE BRÛLANTE À L'ARCTIQUE GLACIAL

En décembre 2019, une activité de recherche collaborative entre le LPC2E, le LATMOS, le LA, et l'Université d'Alaska Fairbanks a franchi une nouvelle frontière par l'utilisation des capteurs « nez électronique » pour mesurer la pollution de l'air à Fairbanks, en Alaska. Durant le froid hivernal de l'Arctique, les températures peuvent descendre jusqu'à -40 degrés Celsius, et les niveaux de pollution à Fairbanks dépassent souvent les normes de qualité de l'air. À l'aide de petits capteurs, il est possible de cartographier spatialement les gaz et les particules à l'horizontale (porté à pied, pour des mesures d'exposition individuelle) et à la verticale (sur un treuil vertical installé le long d'un bâtiment). Cela permet de montrer comment les inversions de température, qui limitent la dispersion verticale, combinées aux émissions locales, sont à l'origine de graves épisodes de pollution. Mais il reste des questions en suspens sur la façon dont les gaz s'oxydent pour former des particules dans les conditions froides et peu ensoleillées de l'hiver arctique.

En janvier-février 2022, il est prévu qu'une mission retourne à Fairbanks pour déployer de petits capteurs sous des ballons afin de mieux caractériser l'interaction entre des différentes couches atmosphériques, les émissions, et la chimie atmosphérique qui conduit à la formation de particules. En passant de l'environnement extrême des volcans à celui, extrême lui aussi, de l'Arctique, cette activité permet également de mieux comprendre les performances des petits capteurs en eux-mêmes..

Tjarda ROBERTS < LPC2E
Tjarda.roberts@cnrs-orleans.fr
https://www.lpc2e.cnrs.fr

Talents

Médaille de bronze

La médaille de bronze du CNRS récompense le premier travail d'un chercheur prometteur dans son domaine. Trois lauréates en Délégation Centre Limousin Poitou-Charentes en 2020 *(les cérémonies prévues en novembre ou décembre 2020 sont reportées au premier semestre 2021).*

© Studio Alexia Bonhomme

Laure Huitema Maître de conférence à l'université de Limoges et chercheuse au laboratoire Xlim, membre de l'équipe Antennes et signaux au sein de l'axe Systèmes Radio-Fréquences.

© DR

Tjarda Roberts Chercheuse en chimie atmosphérique au Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace à Orléans, spécialisée dans la réactivité des gaz et particules dans les panaches volcaniques.

© Stéphane Hussein

Sédina Tsikata Chercheuse en physique, à l'Institut de combustion, aérothermique, réactivité et environnement à Orléans, spécialisée dans l'étude de la physique des sources plasmas magnétisées..

pour en savoir plus :
http://www.cnrs.fr/fr/talent/index

mais aussi...

Jérôme Casas, Professeur à l'Université de Tours, chercheur à l'IRBI, est l'un des lauréats du prestigieux Prix Gay-Lussac Humboldt en 2020 pour la renommée internationale de ses travaux et sa conception particulière de la physique et de l'écologie des insectes au croisement de l'histoire naturelle, de la technologie de mesure laser de pointe et des mathématiques avancées.

Frédéric Gérome, Chargé de recherche CNRS à XLIM est le lauréat du prix Fabry - de Gramont de la Société Française d'Optique qui honore ses travaux s'étendant du développement des fibres creuses à la photonique des plasmas.

Wahid Mellouki, Directeur de recherche CNRS, chimiste spécialiste en chimie atmosphérique à ICARE a reçu le Prix Yoram J. Kaufman Outstanding Research and Unselfish Cooperation 2020 de l'American Geophysical Union.

Kilian Raschel, Chargé de recherche au CNRS à l'Institut Denis Poisson, est lauréat du Prix Marc Yor de l'académie des sciences pour ses travaux à l'interface de la théorie des probabilités et de la combinatoire.

ERC Starting Grant

Les bourses Starting Grant permettent à des jeunes scientifiques de constituer leur équipe de recherche autour d'un thème original. Elles soutiennent les projets scientifiques sur des sujets ambitieux et comportant des risques.

Estelle Ingrand-Varenne, Chargée de recherche CNRS, épigraphiste au CESCM à Poitiers, détachée au Centre de recherche français à Jérusalem.

© CESCM

Tout l'intérêt et le défi du projet GRAPH-EAST : « Latin as an Alien Script in the Medieval 'Latin East' » résident dans l'exploration de l'écriture latine, migrante entre Occident et Orient, mais en contact et en interaction avec les inscriptions grecques, arabes, hébraïques, arméniennes, syriaques. Une communauté internationale d'experts dans chacun de ces domaines est réunie pour recomposer le paysage (épi)graphique de la Méditerranée orientale du VII^{e} s au XVI^{e} s.

Benjamin Wetzel, Chargé de recherche à l'institut XLIM à Limoges, Physicien.

© Benjamin Wetzel

Le projet STREAMLINE vise à exploiter des composants photoniques fibrés et intégrés dans une architecture hybride pour la génération d'ondes optiques aux caractéristiques sur mesure et reconfigurables. L'utilisation de systèmes photoniques intégrés et actifs permettra notamment le contrôle flexible et rapide des impulsions optiques initiales, conditionnant ainsi les dynamiques complexes de propagation via des approches d'apprentissage automatique (machine learning).

Les étoiles de l'Europe

Le trophée récompense les coordinatrices et coordinateurs de projets européens de recherche et d'innovation, portés par une structure française. Grâce à leurs travaux, l'influence de la France a été renforcée en Europe et à l'international.

© XLIM

Le projet SUMCASTEC d'**Arnaud Pothier** (à gauche), chargé de recherche à XLIM à Limoges, développe de nouveaux concepts de laboratoires sur puce en technologie semi-conducteur afin de neutraliser des cellules souches cancéreuses par des ondes électromagnétiques.

Horizon Impact Award

Ce prix distingue les projets dont les résultats ont créé des impacts sociétaux en Europe et au-delà.

© CEBC

Henri Weimerskirch directeur de recherche au CEBC à Chizé est l'un des 5 lauréats européens 2020 pour son projet ERC Proof of Concept "OCEAN SENTINEL". Ce programme ambitieux permet de lutter contre la pêche illégale en utilisant un système de balises embarqués sur des oiseaux marins.

EUR - écoles universitaires de recherche

Les Écoles universitaires de recherche (EUR) doivent permettre aux établissements lauréats de renforcer l'impact et l'attractivité internationale de leur recherche et de leurs formations dans un ou plusieurs domaines scientifiques, rassemblerant des formations de master et de doctorat ainsi qu'un ou plusieurs laboratoires de recherche de haut niveau.

À Limoges, l'EUR **TACTIC**, pour **Actions transverses céramiques avancées & TIC** s'inscrit dans le cadre d'une longue et étroite coopération en s'appuyant sur une recherche d'excellence portée par le LabEx ∑-LIM et les laboratoires IRCER et XLIM. Elle renforcera la position de leader de l'Université de Limoges dans les domaines des Céramiques avancées et des Technologies de l'Information et des Communications (TIC).

À Poitiers, **INTREE** pour **Interfaces en aéronautique, énergie, environnement** vise à former, par la recherche, des étudiants spécialisés dans l'étude, la mesure et la modélisation des problèmes d'interfaces (étude des phénomènes physiques et chimiques qui se produisent à la surface de contact entre deux phases ou entre une phase et le vide). Ce projet associe deux laboratoires : l'Institut Pprime et l'IC2MP et bénéficie du soutien de Safran, Orano et Solvay.

Deux nouveaux laboratoires communs

RUPEE LAB

Le **9 octobre**, le laboratoire commun RUPEE Lab naissait du besoin d'apporter des réponses à des problématiques essentielles posées par notre environnement en **mettant en commun les compétences du Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE) et du centre technologique Tipee.**

Le LaSIE développe une approche intégrée des systèmes (structures industrielles, environnements bâtis, plateformes marines, etc.), analysés et modélisés à différentes échelles d'espace et de temps. L'un de ces domaines d'application est axé sur le bâtiment et la ville durable. Tipee, de son côté, est un centre technologique dédié au bâtiment durable né en 2012 au sein de La Rochelle Université. Son rôle est d'apporter des solutions concrètes à tous les acteurs de la filière du bâtiment : maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, promoteurs, fabricants ou encore artisans.

© CNRS

CANOPÉE

Pierre Mutzenhardt, président de l'université de Lorraine, Benoît Bazin, directeur général adjoint de Saint-Gobain et Antoine Petit président-directeur général du CNRS, ont signé le **23 octobre** dernier la création de CANOPÉE, un laboratoire commun dédié à **l'étude des matériaux et "systèmes" en conditions extrêmes de température.** Le CEMHTI à Orléans, le LEMTA à Vandoeuvre renforcent et perpétuent ainsi le partenariat qu'ils ont de longue date avec Saint-Gobain.

TROPHÉES inpi 2020

Le CEMHTI à Orléans est l'un des 17 laboratoires du réseau RS2E distingués par le Trophée INPI 2020, catégorie recherche. Il est notamment **expert dans le développement de matériaux carbonés avancés** utilisés comme électrode dans les batteries et supercondensateurs. Il est également reconnu pour l'analyse physico-chimique par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) des matériaux constituant ces dispositifs de stockage de l'énergie et dans le suivi *in situ* de ces dispositifs en fonctionnement. Les équipements et savoir-faire du laboratoire sont mis à disposition de tous les chercheurs du réseau dans la plateforme RMN du RS2E gérée par le CEMHTI.

© Linda Jeuffrault-CNRS DR8

Installation d'un dispositif de stockage électrochimique de l'énergie (batterie, supercondensateur) dans la sonde de mesure RMN pour suivre l'évolution des composants par RMN pendant la charge, en temps réel.

Plan de relance immobilier

FRANCE RELANCE

30 projets de rénovation énergétique des bâtiments ont été accordés au CNRS. En Délégation, trois financements ont été obtenus pour un budget total de 1.703.358 €. **Les travaux devront être réalisés avant la fin 2023, sous la coordination du Service Patrimoine et Logistique.** À Orléans, les rénovations concernent le CBM (réfection de façades) pour 450 714 € TTC et le CEMHTI (toîts terrasses) pour 217 200 € TTC. A Chizé, l'isolation thermique par l'extérieur en produits bio-sourcés sera faite sur 5 bâtiments pour 1 035 444 € TTC.

France Relance bénéficie à l'ensemble de l'ESRI. Des financements ont été alloués aux Universités pour leurs propres bâtiments dont certains hébergent des unités de recherche.

Tarification

Pour pouvoir proposer à titre onéreux des prestations ou des produits à des acteurs publics ou privés, le CNRS s'est doté d'un cadre méthodologique pour l'élaboration des tarifs, basé sur les règles de détermination d'un coût complet. **3 objectifs sont poursuivis au travers de cette démarche :**

- définir le coût complet de la prestation
- établir les règles homogènes de détermination des tarifs pour les prestations internes et externes
- pouvoir justifier, de manière auditable, les dépenses de facturation interne dans les projets de recherche financés par des financeurs publics.

pour en savoir plus :
https://intranet.cnrs.fr/delegations/dr8
rubrique "Pour les labos"

Lancement de la démarche développement durable dans les unités

SERVICES PUBLICS écoresponsables

Avec la création à l'automne 2020 d'un comité « développement durable », le CNRS poursuit son objectif de mieux intégrer la « durabilité » dans les pratiques de la recherche. Dans cette optique, le CNRS encourage les unités dont il est tutelle à **mieux prendre en compte l'impact environnemental de leurs activités.**

Cette démarche globale fait écho aux engagements pris par le CNRS depuis 5 ans pour répondre aux 17 objectifs de développement durable définis par les Nations-Unies en 2015.

pour en savoir plus :
https://www.cnrs.fr/fr/objectifs-de-developpement-durable-le-cnrs-sengage

Réseau Qualité

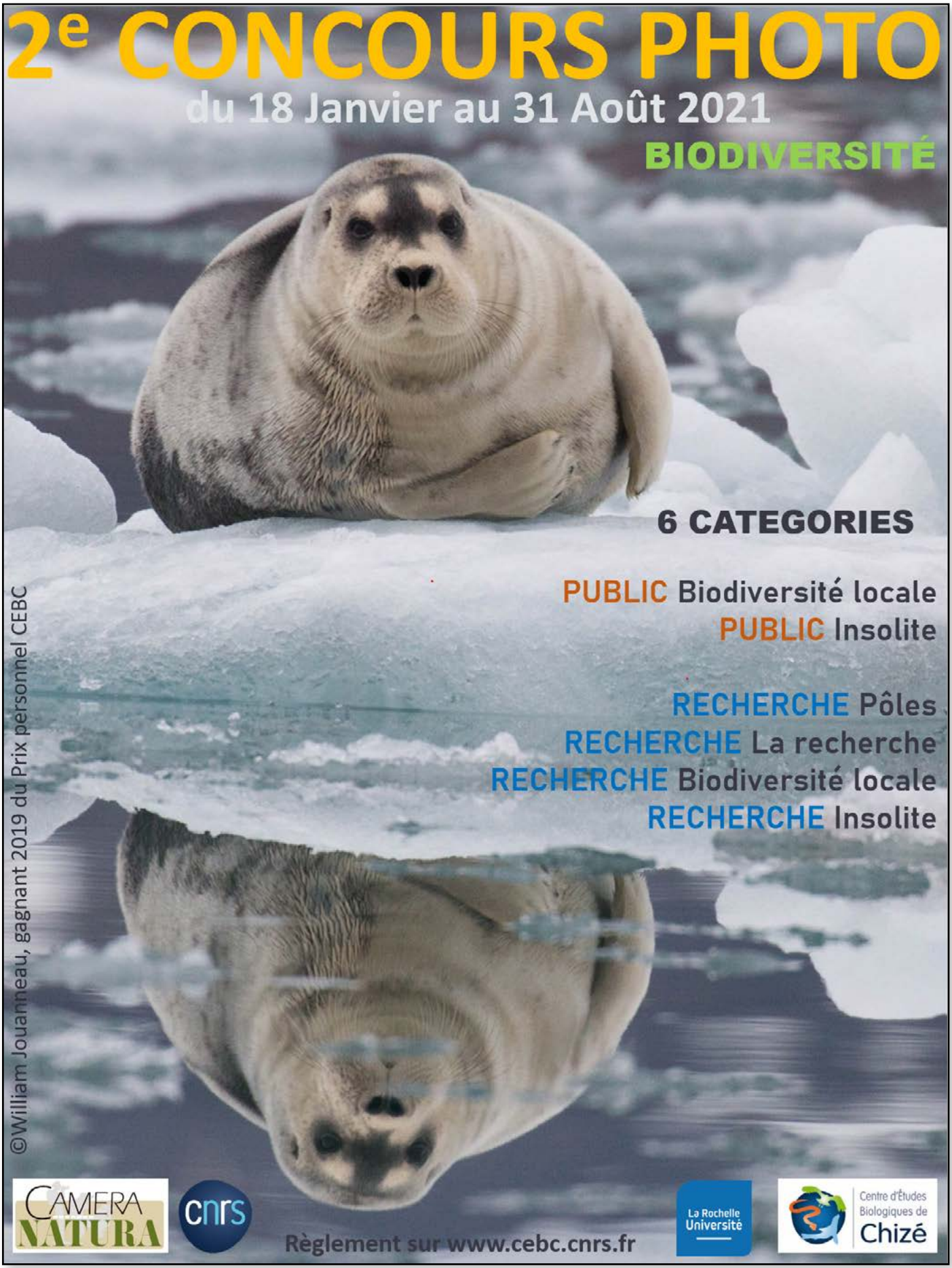
Courant 2020, des agents CNRS et Universitaires intéressés par les démarches qualité ont créé le réseau Qualité en recherche et en enseignement supérieur de la région Centre (réseau QuaRe) dans l'objectif de **fédérer les compétences locales** dans les domaines de la qualité avec des retours d'expérience, des formations, du soutien en matière d'expertise, de l'amélioration de processus, des échanges avec d'autres réseaux métiers régionaux et nationaux.

Contact :
quare@cnrs-orleans.fr

2e CONCOURS PHOTO

du 18 Janvier au 31 Août 2021

BIODIVERSITÉ



6 CATEGORIES

PUBLIC Biodiversité locale

PUBLIC Insolite

RECHERCHE Pôles

RECHERCHE La recherche

RECHERCHE Biodiversité locale

RECHERCHE Insolite

©William Jouanneau, gagnant 2019 du Prix personnel CEBC

CAMERA NATURA

cnrs

Règlement sur www.cebc.cnrs.fr

La Rochelle Université

Centre d'Études Biologiques de Chizé