

microscoop

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

n° 77 - février 2018

Biologie

Choisir son partenaire sexuel :
la leçon du cloporte

Histoire

Les arts du spectacle à Rome,
un enjeu politique ?

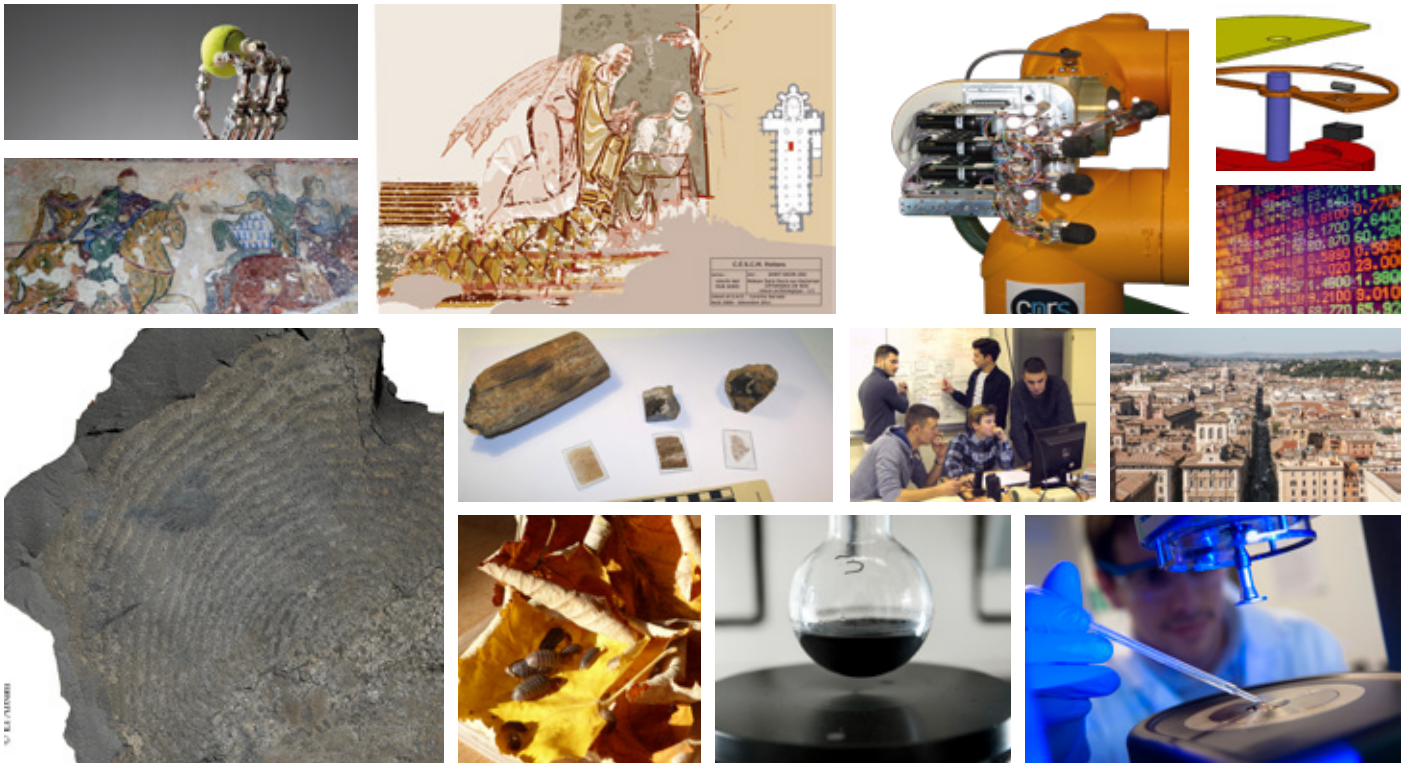
Matériaux

Coup de chaud sur les polymères...

Économie

Faut-il se séparer des banques ?





ISSN 1291-8083

Photo couverture :
Cloporte en boule
© EBI

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

Marion Blin

Secrétaire de la publication

Florence Royer
Manon Parent

Création graphique

Julie Avrain
Linda Jeuffrault

Ont participé à ce numéro :

Jérémie Aubineau, Sophie Beltran-Bech,
Samuel Bernard, Claire Carrion,
Sylvine Durand, Abderrazzak El Albani,
Vanessa Ernst-Maillet, Aïcha Fonte,
Sylvie Foucaud, Frédéric Foucher,
Jean-Pierre Gazeau, Anne-Madeleine Goulet,
Sylvain Janiec, Pierre Laguillaumie,
Gregory Levieuge, Romain Lucas,
Ophélie Martin, Camille Mizera,
Elisabeth Nau, Alice Plutino, Jean-Paul Pollin,
Isabelle Rabaud, Noël Richard,
Carolina Sarrade.

Éditorial

L'année 2018 sera l'année du renouveau !

Tout d'abord, au niveau national, comme vous le savez tous, Antoine Petit a été nommé président-directeur général du CNRS le 24 janvier 2018 par le président de la République sur proposition de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Professeur des universités de classe exceptionnelle, Antoine Petit était président d'Inria depuis octobre 2014. Auparavant, et alors qu'il était tout jeune diplômé, son parcours l'a conduit à passer par notre délégation, en qualité d'assistant-agrégé à l'Université d'Orléans. Il est évident que notre délégation a très largement évolué depuis cette époque.

Microscoop a été le témoin de cet essor au cours des 27 dernières années. Créé en 1991, son graphisme a évolué au fil du temps et sa dernière ligne graphique a déjà 7 ans d'existence. Si les modes changent, Microscoop reste, mais encore faut-il le faire évoluer, le mettre au goût du jour. Cette mission a été confiée à Julie Avrain, une toute jeune infographiste en formation BTS par alternance au service communication de la Délégation. Depuis septembre 2016, elle crée des visuels pour les laboratoires. Sa créativité et le regard déjà très professionnel qu'elle porte sur les supports d'édition servent aujourd'hui à donner un petit coup de fraîcheur à notre magazine. Le graphisme a évolué, la ligne éditoriale reste la même : mettre en valeur les sciences de notre circonscription. Bien sûr nous avons conservé ce qui a fait le succès de Microscoop, notamment les articles rédigés par les chercheurs qui vulgarisent leur domaine de recherche, et que je tiens ici à remercier tout particulièrement. Comme l'indique notre nouveau président-directeur général, « *Le CNRS est le vaisseau amiral de la recherche française* ». Microscoop en est le reflet pour notre délégation en dressant un (tout petit) panorama de l'excellence de la recherche qui se déroule dans nos laboratoires.

Je vous propose de feuilleter et de lire ce nouveau numéro de Microscoop, entièrement reformaté, qui, je l'espère, vous fera passer un très bon moment. Très bonne lecture à tous.



Marion Blin
Déléguée régionale

4 Biologie

- Choisir son partenaire sexuel : la leçon du cloporte
- Le noyau des lymphocytes B : organisation contrôlée

8 Histoire

- Les arts du spectacle à Rome, un enjeu politique ?
- Bleu ou *bleu* ?

12 Chimie

- Le voile se lève sur les bactéries fossiles

14 Exobiologie

- Échantillonner Mars, une ambition orléanaise !

16 Matériaux

- Coup de chaud sur les polymères...

18 Économie

- Faut-il se séparer des banques ?

20 Physique

- La performance au bout des doigts

22 Actualités

Choisir son partenaire sexuel : la leçon du cloporte

Comment choisir son partenaire sexuel ? Sur quels critères ? Et quel impact ce choix peut-il avoir sur la descendance ? Ces questions souvent teintées d'anthropomorphisme font depuis toujours débat chez les biologistes évolutionnistes. Finalement, c'est le cloporte qui pourrait leur donner des leçons !

Charles Darwin révolutionne la théorie de l'Évolution dans son ouvrage *L'Origine des espèces* (1859) en proposant le mécanisme de sélection naturelle basé sur la reproduction différentielle des individus en fonction de leur capacité à survivre : plus un individu est capable de survivre grâce à des traits particuliers, plus il les transmet à sa descendance. Mais Darwin découvre que la sélection naturelle n'explique pas tout. À côté de la lutte pour la survie, les organismes déploient des caractères secondaires dans la compétition pour la reproduction. Dans son ouvrage *La filiation de l'homme et la sélection liée au sexe* (1871), il ajoute donc un autre versant à sa théorie de l'Évolution, la sélection sexuelle. Débat très anthropomorphique dès le début, le « caprice féminin » permet de comprendre et d'expliquer pourquoi les mâles de nombreuses espèces présentent des caractères qui réduisent potentiellement leur survie.



Cloporte en boule

La sélection sexuelle semble être la clef du problème, les mâles entrant en compétition pour être choisis par les femelles. Mais Darwin a beaucoup de difficultés à défendre cet aspect de sa théorie contre ses contemporains qui refusent l'idée que le choix des femelles puisse exercer une quelconque pression évolutive. Ce n'est qu'au cours du XX^e siècle, notamment grâce aux travaux de Ronald Fisher dans les années 1930 mais surtout à partir des années 1970 avec les travaux de Robert Trivers ou Robert Williams, que cet aspect de la théorie darwinienne sera pleinement accepté comme un mécanisme à part entière.

DE LA SÉLECTION SEXUELLE AU CHOIX DE PARTENAIRE

L'accès au partenaire sexuel est un facteur important de la différence de fertilité entre les individus. Un individu capable d'attirer des partenaires sexuels a plus de chance d'avoir une descendance. Pour bien comprendre le mécanisme de la sélection sexuelle, il est important de comprendre les deux composantes non exclusives dont elle est constituée. La première composante est la sélection intrasexuelle.

Elle implique une compétition entre individus du même sexe pour l'accès aux partenaires sexuels. La rivalité des mâles peut être subtile : certains insectes mâles retirent, au cours de la copulation, tout le sperme rival que le tractus génital femelle pouvait contenir avant le coït. Elle se révèle aussi lors de combats ritualisés et peut s'opérer par le développement d'armes contre les autres mâles (bois des cerfs, cornes, griffes, etc.) et/ou une différence de force et d'agressivité.

La deuxième composante est la sélection intersexuelle qui implique une compétition en vue d'être le plus attirant pour les membres du sexe opposé. Elle est façonnée par le choix des femelles pour des "ornements", indices de qualité et de vigueur pour la reproduction, tels que la queue du paon. D'autres caractères comme la couleur des plumes chez les oiseaux, la taille des individus, mais aussi les caractéristiques sociales comme le statut hiérarchique chez des primates, l'expérience ou la qualité du territoire défendu peuvent être considérés comme des indices de qualité et ainsi faire l'objet du choix des femelles.

ET LA GÉNÉTIQUE DANS LE CHOIX DU PARTENAIRE ?

Les caractéristiques génétiques sont également des indices de qualité qui sont détectés et choisis par les femelles chez de nombreuses espèces. Beaucoup d'études chez les vertébrés, y compris chez l'être humain, ont révélé des choix pour un partenaire génétiquement dissimilaire. Les deux partenaires possèdent alors des allèles (variants génétiques) différents. D'autres études ont mis en évidence des choix pour des partenaires hétérozygotes. Ces derniers sont plus diversifiés car ils possèdent un grand nombre d'allèles différents portés par les deux chromosomes d'une même paire, souvent gage de qualité génétique.

" ... aller plus loin dans la compréhension des mécanismes impliqués dans les choix... "

Finalement, peu d'études ont été réalisées sur les invertébrés. Les manipulations expérimentales sur les invertébrés sont pourtant plus faciles à contrôler en laboratoire. Ils permettent d'aller plus loin dans la compréhension des mécanismes impliqués dans les choix de partenaire.

QUE NOUS APPREND LE CLOPORTE ?

Au laboratoire Écologie et Biologie des Interactions* (UMR 7267 CNRS/ Université de Poitiers), des chercheuses ont étudié les choix de partenaire chez le cloporte *Armadillidium vulgare*, crustacé terrestre promiscuitaire. Pour mieux comprendre les mécanismes de sélection sexuelle chez ce cloporte et l'impact de la génétique dans ce contexte, elles ont proposé expérimentalement à une femelle deux mâles présentant des caractéristiques génétiques différentes. Elles les ont laissé se reproduire et ont prélevé la descendance pour estimer le succès de paternité de chacun des mâles en fonction de leurs caractéristiques génétiques.



Leurs résultats révèlent que les mâles plus hétérozygotes ont un meilleur succès de paternité (plus de petits), et ce quel que soit le nombre de pères impliqués dans la portée (un ou deux selon les portées obtenues). Par ailleurs, un meilleur succès des mâles les plus dissimilaires à la femelle est observé, mais uniquement lorsqu'un seul mâle engendre des descendants dans la portée obtenue. Un choix pour un partenaire dissimilaire semble ainsi exister dans notre modèle. Le fait que les portées issues de parents plus dissimilaires comportent plus de petits expliquerait comment ce choix a pu être sélectionné au cours de l'évolution. Cela étant dit, évolutivement parlant, il faut que la diversité génétique soit un gage de qualité pour qu'un tel choix soit sélectionné, c'est-à-dire que les organismes qui possèdent une bonne diversité génétique devraient présenter un avantage. Actuellement, des recherches effectuées au laboratoire tentent d'ailleurs d'aller plus loin et de mieux comprendre ce lien entre diversité génétique et qualité individuelle.

Sylvine DURAND < EBI
sylvine.durand@univ-poitiers.fr

Sophie BELTRAN-BECH < EBI
sophie.beltran.bech@univ-poitiers.fr

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

* Les travaux de recherche du laboratoire EBI (UMR CNRS 7267) s'inscrivent dans l'étude des interactions entre organismes vivants et entre ces organismes et leur environnement, avec des approches allant de la compréhension de ces interactions du point de vue génétique mais aussi en termes de stratégies des individus, des populations et même des écosystèmes. L'étude de l'effet de la qualité et de la diversité génétique sur les stratégies évolutives des organismes et notamment sur les choix de partenaire a dans ce contexte bénéficié de cet environnement interdisciplinaire.

Le noyau des lymphocytes B : organisation contrôlée

Les lymphocytes B interviennent dans la défense de notre organisme. Pour mettre en place une défense efficace, ils sont capables de remodeler l'information contenue dans leur noyau. Mais ce remaniement doit être strictement contrôlé sous peine d'être à l'origine d'anomalies. Au laboratoire CRIBL, les chercheurs tentent de comprendre quels acteurs régulent ce remodelage.

Tout au long de notre vie, notre organisme doit faire face à diverses agressions présentes dans notre environnement (microbes, virus, parasites...). C'est à ce niveau que notre système immunitaire intervient : il s'agit d'un ensemble d'organes, de tissus et de cellules hyper spécialisées dans la défense de notre organisme. Il s'adapte pour mettre en place une réponse rapide et appropriée à la lutte contre les pathogènes. Au sein de ce système, les lymphocytes B (cellules de la famille des globules blancs) jouent un rôle essentiel. Ils sont capables de produire « des armes de défense » : les anticorps (ou immunoglobulines). Les anticorps sont des protéines pouvant neutraliser les agents pathogènes. Elles ont une structure particulière : une forme de « Y » constituée par une chaîne lourde (grand bras du « Y ») et une chaîne légère (petit bras du « Y »).

L'information nécessaire à la production des anticorps est codée par l'ADN des gènes des chaînes lourdes et légères, situés sur 2 chromosomes différents. Les parties de chromosome englobant ces gènes sont appelées locus *IgH* (Heavy, pour les chaînes lourdes) et locus *IgL* (Light, pour les chaînes légères).

DE LA MUTATION À L'HYPERMUTATION

Pour produire des anticorps de haute qualité, les gènes d'immunoglobulines vont se modifier tout au long du développement des lymphocytes B. Des mutations « bénéfiques » vont être introduites par une enzyme nommée AID : c'est le processus d'hypermutation, permettant la production d'anticorps plus spécifiques qui pourront combattre plus efficacement les pathogènes.

Alors que les autres cellules de notre corps mettent tout en place pour préserver l'intégrité de leur ADN, les lymphocytes B vont donc autoriser des mutations de leurs gènes d'anticorps. Malheureusement, certains gènes au voisinage des gènes d'immunoglobuline vont subir des muta-

tions telles que des dommages collatéraux. Ces gènes sont appelés cibles illégitimes de l'enzyme AID. Ce sont parfois des oncogènes c'est-à-dire des gènes responsables de la survenue de cancer. Ces dommages collatéraux peuvent donc avoir des conséquences dramatiques.

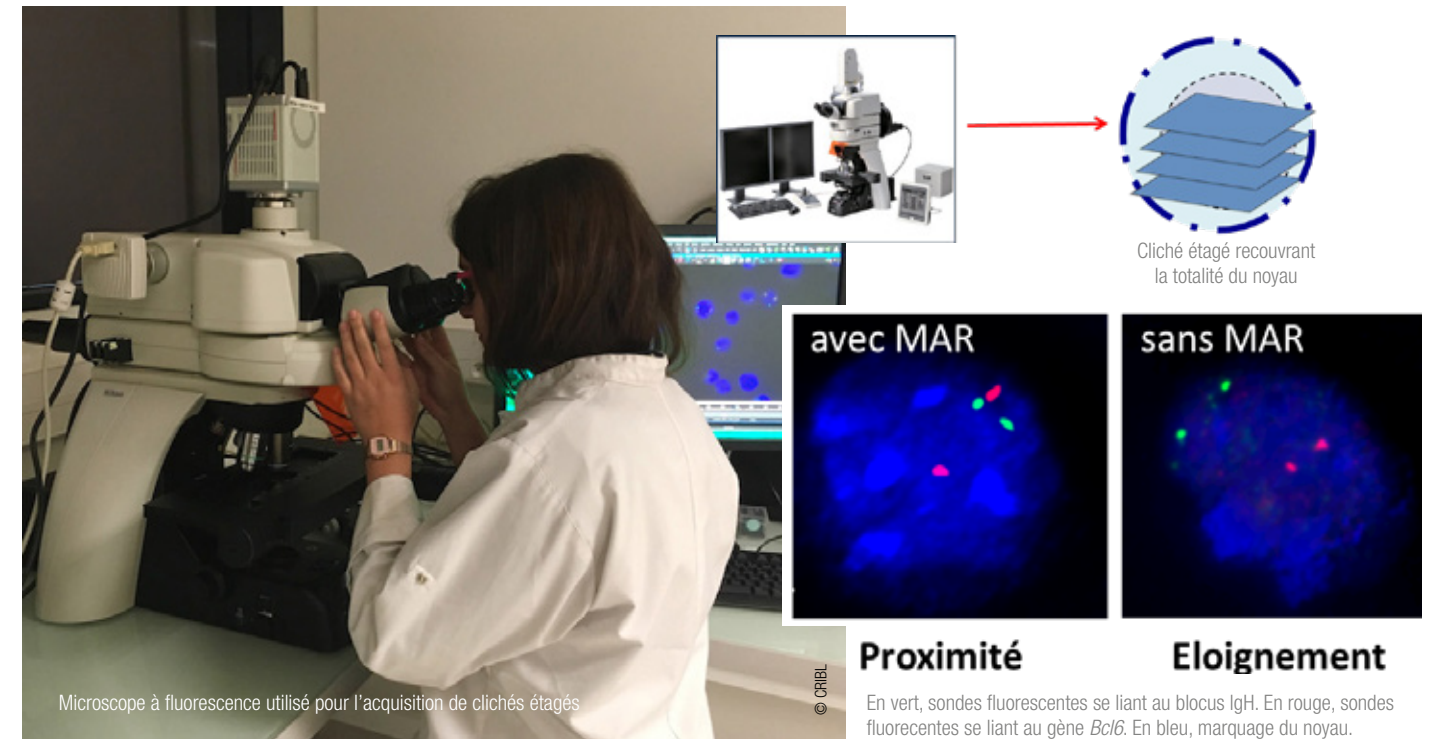
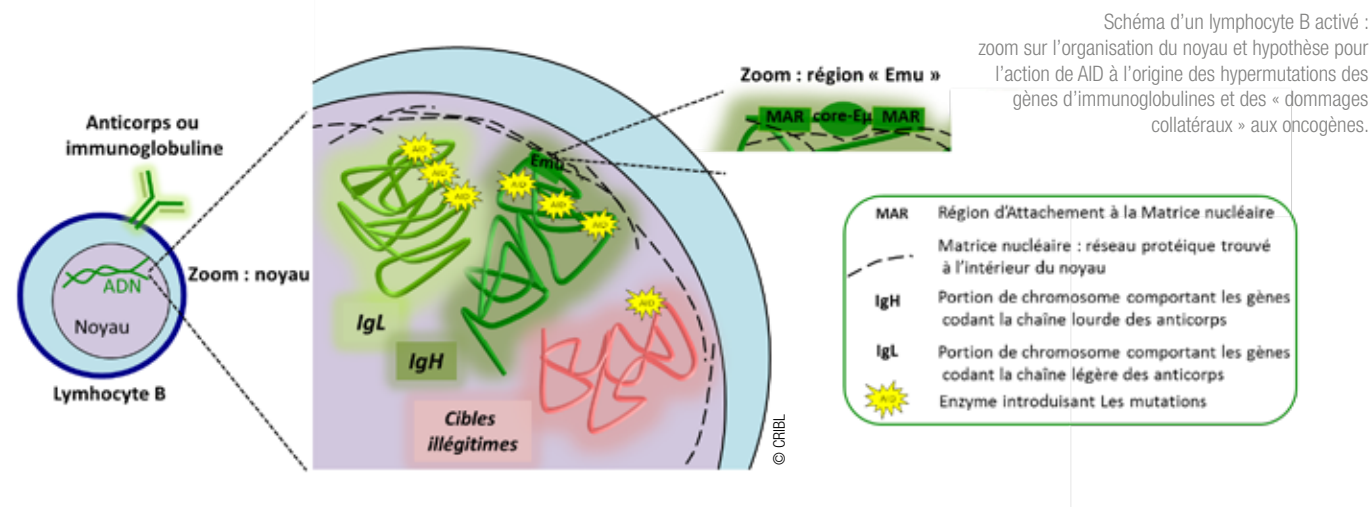
"... le rôle de la région « Emu » reste controversé."

Ce mécanisme d'hypermutation doit donc être contrôlé de manière stricte dans le temps (il doit avoir lieu seulement au cours d'une réponse vis à vis d'un pathogène) et dans l'espace du noyau des lymphocytes B (être restreint aux gènes d'immunoglobulines). Deux régions régulatrices sont décrites au locus *IgH* : elles sont localisées au milieu et à une des extrémités du locus et sont nommées respectivement « Emu » et « régulatrice 3' ». Alors que le rôle de la région « régulatrice 3' » est connu (elle assure le recrutement de l'enzyme AID sur les gènes de la chaîne lourde des anticorps) le rôle de la région « Emu » reste controversé.

Les recherches du laboratoire CRIBL (Contrôle des réponses immunes B et des lymphoproliférations – UMR7276 CNRS / Université de Limoges / INSERM) se sont donc focalisées sur cette région régulatrice « Emu » dans laquelle on trouve :

- un activateur de la transcription *dit* « *core-Emu* »*
- deux « Régions d'Attachement à la Matrice nucléaire » (ou MARs_{Emu}) de chaque côté de cet activateur**.

Du fait de sa complexité, l'étude de l'hypermutation des anticorps nécessite un modèle « *in vivo* », c'est-à-dire un organisme entier doté d'un système immunitaire proche de celui de l'homme. Pour comprendre la fonction des régions MARs_{Emu} le laboratoire a développé



des modèles murins dépourvus de MARs_{Emu}. Toute altération du mécanisme d'hypermutation indiquera que ces régions sont nécessaires au bon déroulement de ce mécanisme.

Les biologistes ont constaté que :

- Les MARs_{Emu} favorisent les mutations : ils ont quantifié les mutations de l'ADN dans les lymphocytes B de souris normales et dans ceux de souris dépourvues de MARs_{Emu}. Les gènes des anticorps mais également les « cibles illégitimes » de AID (tel que l'oncogène *Bcl6* fréquemment muté dans les lymphomes B) se trouvent moins mutés dans les lymphocytes B de souris dépourvues des MARs_{Emu}.
- Les MARs_{Emu} influencent la position des cibles de l'enzyme AID dans le noyau : grâce à leur capacité à lier la matrice nucléaire, les MARs_{Emu} participent à la structuration des chromosomes dans les noyaux des cellules.

VOIR AU CŒUR DU NOYAU

Les chercheurs ont alors mené une étude du positionnement des gènes ciblés par l'enzyme AID une technique de visualisation 3D (Hybridation *In Situ* en Fluorescence et 3 Dimensions - FISH 3D). Ils regardent l'intérieur du noyau d'une cellule, en 3D.

Cette méthode utilise des molécules d'ADN fluorescentes qui vont se lier spécifiquement aux gènes d'intérêt à l'intérieur des noyaux. Les chercheurs travaillent à partir de lymphocytes B immobilisés et dont l'architecture du noyau est préservée. Les noyaux sont ensuite observés grâce à un microscope à fluorescence performant : chaque spot de fluorescence repéré correspond à un gène d'intérêt. Les noyaux de nos cellules contiennent chacun deux copies de nos gènes (ou allèles). Les chercheurs observent donc dans chaque noyau deux spots de même couleur pour un gène donné. Ce type de microscope produit un empilement d'images recouvrant la totalité de chaque noyau. Elles sont traitées par des logiciels dédiés à l'évaluation précise du

positionnement de gènes à l'intérieur d'un noyau reconstitué en 3 dimensions.

Dans les noyaux de lymphocytes B de modèles normaux, le locus *IgH* et l'oncogène *Bcl6* sont proches et localisés en périphérie du noyau. Alors que les modèles dépourvus de MARs_{Emu}, le locus *IgH* et l'oncogène *Bcl6* s'éloignent et sont plus au centre du noyau.

Ce travail démontre l'implication des MARs_{Emu} dans le contrôle du processus d'hypermutation dans les lymphocytes B. En régulant la position des cibles de AID dans le noyau, les MARs_{Emu} influencent l'introduction des mutations infligées à ces cibles situées sur différents chromosomes. Les recherches du CRIBL se poursuivent par l'étude de protéines capables de s'attacher aux MARs_{Emu} et potentiellement impliquées dans le contrôle des hypermutations. L'étude de ce mécanisme est indispensable pour une meilleure compréhension de l'apparition des cancers des lymphocytes B. Les acteurs de sa régulation sont à considérer comme de nouvelles cibles thérapeutiques.

Ophélie MARTIN < CRIBL
ophelie.martin@unilim.fr

Claire CARRION < CRIBL
claire.carrion@unilim.fr

* la transcription est l'étape au cours de laquelle la molécule d'ADN est convertie en molécule d'ARN. C'est l'ARN qui permettra ensuite l'expression des protéines.

** Les MARs_{Emu} sont des portions d'ADN capables de fixer les protéines tapissant l'intérieur du noyau des cellules.

Les arts du spectacle à Rome, un enjeu politique ?

La vie culturelle et sa dimension spectaculaire dans les palais aristocratiques romains invitent à analyser comment la rivalité politique des grandes familles aristocratiques romaines a pu marquer durablement la création artistique.



Rome, Via del Corso © 2012 Franco Bruni

Les palais aristocratiques dominent aujourd'hui encore le paysage urbain de la cité éternelle. Les façades et les entrées de ces demeures, souvent ornées d'armoiries, conservent le souvenir et les empreintes successives des familles qui s'y succédèrent. Au XVII^e et au XVIII^e siècle, les élites rivalisaient afin d'affermir leur emprise sur la ville en finançant la construction d'églises et de chapelles ainsi qu'en organisant fêtes et divertissements. Certains de ces édifices ont disparu, mais beaucoup subsistent encore. En outre, les grandes familles conservaient des archives que l'on peut retrouver aujourd'hui entreposées dans des bâtiments publics, voire dans leurs palais, et qui présentent un intérêt historique remarquable.

LA DÉCOUVERTE DE PIÈCES D'ARCHIVES AUTOUR D'UN OPÉRA MÉCONNU D'ALESSANDRO SCARLATTI

Dans les archives de la famille Orsini se trouvent de nombreux documents relatifs à un opéra d'Alessandro Scarlatti dont seul le titre et quelques airs étaient jusque-là connus et dont on ignorait tout des circonstances de création. En 1683, le duc Orsini, qui possédait le palais Pasquin – dont le palais Braschi, au sud de la place Navone, occupe aujourd'hui l'exact emplacement – s'associa avec son beau-frère, le duc Lante della Rovere, pour organiser chez lui une série de représen-

tations d'un opéra : *L'Arsate*. Le livret, signé de la main de Flavio Orsini lui-même, avait été mis en musique par Alessandro Scarlatti.

Ces représentations entraient dans le cadre de la célébration de la naissance récente du duc de Bourgogne (1682-1712), le petit-fils de Louis XIV, dont on pensait alors qu'il monterait un jour sur le trône. Flavio Orsini était en effet le chef de file du parti francophile. Au nom de son allégeance à la Couronne de France, il était de son devoir d'assurer une visibilité maximale, dans le paysage romain, aux événements importants de la monarchie de Louis XIV.

Sur un plan davantage privé, ces représentations étaient destinées à célébrer avec éclat l'arrivée à Rome de Louise-Angélique de La Trémoille qui venait tout juste d'épouser le duc Lante della Rovere. Elle était accompagnée de sa sœur aînée, Marie-Anne, l'épouse de Flavio Orsini, passée à la postérité sous le nom de princesse des Ursins.

"...conflits et... rivalités intenses entre une vingtaine de grandes familles aristocratiques."

FAMILLES, SPECTACLES, POLITIQUE

Les productions artistiques séculières des palais et des villas de villégiature de la noblesse romaine ont été beaucoup moins bien étudiées que la vie artistique de la cour pontificale, des principales églises ou des grands théâtres de la cité qui parsemaient la ville de Rome, centre de la chrétienté et capitale des États pontificaux. Or, la ville éternelle fut aux XVII^e et XVIII^e siècles la scène de conflits et de rivalités intenses entre une vingtaine de grandes familles aristocratiques.



Frontispice et page de titre du livret de *L'Arsate* (© Bibliothèque nationale de Rome)

LE RÔLE STRATÉGIQUE DE L'ART

Le projet de recherche PerformArt opère un déplacement du regard, en installant au cœur de la recherche ce qui a longtemps été considéré comme périphérique et secondaire : la vie culturelle, et plus particulièrement sa dimension spectaculaire, dans les palais aristocratiques romains. L'apport considérable d'informations nouvelles n'est pas le seul effet intellectuel qu'un tel déplacement génère. Il permet aussi d'approfondir le rôle des arts dans la vie quotidienne des élites, d'éclaircir les conditions et les motivations de leur mécénat, d'évaluer l'importance des arts dans les processus de construction identitaire des grandes familles romaines, bref de saisir les dynamiques complexes des engagements culturels de l'aristocratie romaine.

PerformArt se déroule à la manière d'une enquête dans dix fonds d'archives romains et dans ceux d'une villa privée à Frascati. Cette enquête explore des documents de nature très diverse, qui vont des documents comptables aux correspondances privées, des journaux aux documents notariés, sans parler des livrets et des partitions musicales. L'ensemble des données récoltées dans les archives est progressivement rassemblé au sein d'une base de données relationnelle qui permet d'indexer les documents, les personnes, les œuvres, les lieux, les collectivités, les *realia* (objets) et les événements. Diverses exploitations des données deviennent possibles – prosopographies (notices biographiques), visualisation des réseaux, catalogue des sources, statistiques, etc.

Compte des musiciens qui ont participé aux représentations de *L'Arsate* de Scarlatti (Archivio di Stato di Roma, fonds Lante della Rovere, b. 191/II).
Sur concession du Ministero dei Beni e delle Attività Culturali ASR n° 37/2012

Les représentations de *L'Arsate* ont été organisées pour célébrer la naissance récente du duc de Bourgogne, petit-fils de Louis XIV. Flavio Orsini, chef de file du parti francophile, assure ainsi une visibilité maximale aux événements importants de la monarchie de Louis XIV.

Au-delà de la simple identification des œuvres, la comparaison entre les onze cas étudiés a permis, d'ores et déjà, d'identifier un modèle d'organisation commun aux différentes familles, signe d'un système de représentation et d'une culture collective partagés. Elle a fait apparaître également l'existence d'un personnel spécialisé en matière de théâtre, qui passait d'une production à l'autre. Enfin elle devrait transformer notre conception des modes de performance et de sociabilité à Rome, et, plus largement, dans l'Europe du XVII^e et du XVIII^e siècle.

Grâce aux réseaux familiaux et politiques dans lesquels les familles aristocratiques romaines étaient intégrées, ces pratiques connurent une diffusion dans l'Europe entière et contribuèrent à renforcer l'idée selon laquelle les arts constituaient un instrument puissant de communication entre les cultures, une idée qui continue de résonner aujourd'hui.

PerformArt est financé par l'European Research Council (Consolidator Grant n°681415) et hébergé par le CNRS, en partenariat avec l'École française de Rome. Il réunit depuis septembre 2016 une équipe interdisciplinaire de vingt-cinq personnes (18 chercheurs de 8 pays d'Europe, 4 archivistes, 1 ingénieur informaticien et 2 personnels administratifs) sous la direction d'Anne-Madeleine GOULET.

Anne-Madeleine GOULET < CESR
anne-madeleine.goulet@univ-tours.fr

<http://www.cesr.cnrs.fr/>

<http://performart-roma.eu/it>

Bleu ou *bleu* ?

Les méthodes d'analyse des peintures murales monumentales sont demeurées longtemps sommaires basées essentiellement sur les reproductions à main levée ou les photos. Depuis le chantier de la crypte de Saint-Germain-d'Auxerre, elles ont évolué vers une recherche, une analyse et une restitution plus précises, nécessaires à la conservation du patrimoine pictural.

L'APPROCHE ARCHÉOLOGIQUE DES PEINTURES MURALES

La technique du relevé stratigraphique met à disposition du chercheur une nouvelle méthode suivant le principe utilisé pour les élévations en archéologie du bâti. Le relevé des surfaces peintes devient peu à peu un témoin pérenne qui facilite l'observation des couches picturales correspondant soit aux différentes étapes de la mise en œuvre, soit aux interventions survenues dans le temps.

L'observation très minutieuse des parois à l'aide de loupes et sous un éclairage froid évite toute altération des pigments et permet la codification et la reproduction des traces de peinture parfois imperceptibles à l'œil nu sur un calque fixé uniquement sur les enduits de restaurations contemporaines. Cette méthode permet de collecter un grand nombre d'informations concernant la technique utilisée, la superposition des figures, l'état de conservation, les modifications picturales, les repeints et les restaurations.

La restitution numérique finale du relevé aboutit à une reproduction extrêmement fidèle présentant l'avantage de décomposer le support en autant de calques qu'il y a d'étapes d'exécution. Il est possible par exemple de visualiser uniquement les esquisses initiales ou de soumettre virtuellement l'aspect d'une peinture avant ses restaurations. Pour les peintures plus dégradées, le résultat numérique peut proposer une restitution de leur état d'origine, combler certaines lacunes iconographiques, compléter les formes, restituer les surfaces colorées et homogénéiser l'ensemble.

Le relevé stratigraphique donne la possibilité de prolonger le temps de réflexion, parfois contraint par la rapidité avec laquelle doivent s'effectuer les études de terrain. La précision des relevés permet de se livrer à une étude rigoureuse de la peinture étudiée sans être directement en contact avec celle-ci. Le temps que demanderaient toutes ces observations sur l'édifice ne permettrait pas de réaliser correctement le travail démenant à la connaissance globale des peintures.

Sur le terrain, l'analyse archéologique met en évidence des stratigraphies et des pigments dont la compréhension réclame parfois des analyses chimiques complémentaires, longtemps effectuées à travers des prélèvements manuels et l'analyse en laboratoire des écaïlles des pigments et des enduits. Pendant le printemps 2017,

grâce à la collaboration entre les laboratoires XLIM* et CESC** cette nouvelle approche stratigraphique des peintures murales a été complétée par l'analyse spectrale non destructive de l'ensemble des pigments utilisés pour la mise en œuvre des peintures murales au Moyen Âge.

" La couleur est une propriété optique de la matière... une façon de réagir à la lumière..."

UNE ANALYSE NON DESTRUCTIVE DES PIGMENTS

Lors de l'étude des peintures murales, des techniques physiques avaient été mises en pratique pour l'analyse et l'identification des pigments d'époque romane. Depuis le printemps 2017, l'utilisation d'un spectroradiomètre a permis de mesurer la radiance en différents points des œuvres et de connaître la signature spectrale du produit mélange pigmentaire/support. La collaboration entre XLIM et CESC a donné les premiers résultats correspondants aux sites des églises Sainte-Radegonde de Chinon et de Saint-Georges de Rochecorbon en Indre et Loire. La problématique d'intervention sur ces sites médiévaux était l'identification non destructive des pigments utilisés. Il était essentiel de comprendre « Qu'est-ce qu'une couleur ? », pour ensuite pouvoir caractériser chaque pigment nécessitant une identification.

La couleur est une propriété optique de la matière qui présente une façon de réagir à la lumière, mesurable et représentée par un spectre de réflectance. Cette mesure est obtenue grâce à un spectroradiomètre qui indique les parties de la lumière qu'un matériau absorbe et celles qui sont réfléchies.

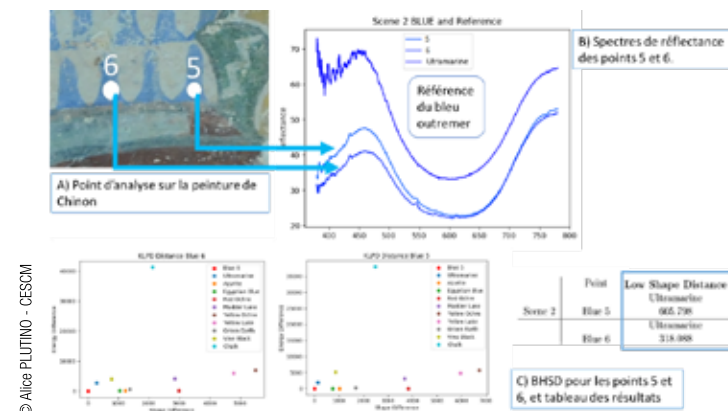


Étapes de mise en œuvre.



© Carolina SARRADE - CESC

À partir des spectres en réflectance mesurés sur site et la confrontation basée sur les références de la base de données du CHSOS group qui comprend les pigments les plus utilisés dans l'histoire de l'art, il est possible de connaître le pigment le plus proche et d'identifier les couleurs « énigmatiques » sur le terrain. L'identification avait souvent été faite à travers une comparaison visuelle et donc subjective. L'innovation que XLIM apporte lors de cette étude est l'utilisation d'une fonction de distance (Kullback-Leibler Pseudo Divergence – KLPD) pour calculer la distance entre les spectres en intensité et en forme. De cette façon les analyses obtenues ont une base mathématique et objective. La méthode d'analyse de pigments avec des mesures en réflectance et la caractérisation avec la fonction KLPD ont déjà été abordées en condition expérimentale au laboratoire XLIM. Mais la première application pratique a été effectuée dans les sites de Chinon et Rochecorbon en collaboration avec le CESC.



© Alice PLUTINO - CESC

Un résultat intéressant concerne les bleus : à Chinon, deux bleus différents ont été mesurés. Les spectres de réflectances obtenus les rapprochent au mieux du bleu outremer. Sur le diagramme dénommé Bidimensional Histograms of Spectral Divergence (BHSO), on observe le point rouge correspondant au spectre bleu et tout le reste aux autres références colorées. Les points les plus proches du bleu sont les plus similaires. À partir de ces informations, les historiens constatent donc que le bleu outremer est le spectre plus proche en forme aux bleus mesurés. Les quelques variations en intensité sont, elles, dues au vieillissement des pigments analysés face à une référence « fraîche ».

Les mesures prises à Rochecorbon, malgré les difficultés matérielles rencontrées pour les collecter (distances et angles de vue), sont aussi relatives au pigment bleu. Les spectres visibles sont très différents de ceux de Chinon. En effet, cette couleur semble être un mélange de plusieurs pigments : la réflectance mesurée est plus complexe et donc difficile à analyser de façon subjective. Une confrontation visuelle entre le spectre mesuré et les références est très difficile dans ce cas, il faut donc passer par les résultats du KLPD pour avoir une idée des pigments qui les composent. Le tableau des distances et les BHSO indiquent la présence de terre verte et de noir organique. Une analyse plus spécifique de cette possibilité à partir des mesures de différence spectrale confirme cette hypothèse : le bleu analysé est un mélange de différents pigments composés notamment de terre verte.

Suite à ces interventions les historiens de l'art ont pu caractériser les points mesurés avec l'analyse en réflectance et comprendre quels pigments l'auteur a utilisé pour mettre en œuvre la peinture murale, déterminer la palette utilisée, qui comprend : ocres rouge et jaune, terre verte, malachite, bleu outremer, craie et noir organique. Ces pigments se présentent sur les sites, avec leurs teintes naturelles ou en nuances, comme dans le cas des carnations qui sont composées d'ocre jaune, d'ocre rouge et de terre verte.

L'analyse en réflectance est seulement une des différentes méthodes pour l'analyse scientifique du patrimoine pictural. Elle est non-destructive et non-invasive. Les résultats obtenus ont une base mathématique et fournissent donc une base optimale pour l'interprétation et la compréhension des pigments et en conséquent des peintures. En outre ces résultats peuvent être utilisés pour compléter la connaissance des œuvres médiévales et pour des projets de restauration et de valorisation.

Alice PLUTINO < CESC
alice.plutino@studenti.unimi.it

Carolina SARRADE < CESC
carolina.sarrade@univ-poitiers.fr

Noël RICHARD < XLIM
noel.richard@xlim.fr

<http://cescm.labo.univ-poitiers.fr/>
www.xlim.fr

* XLIM, UMR 7252 - CNRS/Université de Limoges/Université de Poitiers

**CESCM, Centre d'études supérieures de civilisation médiévale, UMR 7302 - CNRS/Université de Poitiers/Ministère de la culture

Spectre bleu de Rochecorbon.

Le voile se lève sur les bactéries fossiles

Des campagnes de fouilles successives sur le site de Franceville au Gabon depuis 2008 ont permis l'extraction de plus de 500 fossiles. Parmi cette formidable collecte se trouvent de spectaculaires fossiles de voiles bactériens, lieu de vie de micro-organismes vieux de milliards d'années.



Site fossilifère situé dans la région de Franceville

Les voiles bactériens ou biofilms, sont composés de nombreux et divers micro-organismes qui sont spatialement organisés. En géomicrobiologie, les biofilms sont des excellents enregistreurs de conditions paléo-environnementales. Les spécimens fossiles du Gabon ont prospéré il y a plus de deux milliards d'années sous une faible tranche d'eau.

La recherche de forme de vie primitive organisée sur Terre fait partie des prospections les plus intensives depuis quelques décennies. Cette vie ancestrale correspond aux microbialites, des roches organo-sédimentaires associant des voiles bactériens et de sédiments, prospérant il y a au moins 3,5 milliards d'années. Malgré son apparence primaire, un biofilm est l'un des modes de vie le plus répandu et abouti sur Terre. Les microbes sont capables de sécréter, en grande quantité, des substances polymériques extracellulaires correspondant principalement à des polysaccharides complexes, des protéines, des lipides et de l'ADN extracellulaire. L'ensemble de ces substances est considéré comme un mucus organique adhésif dans lequel les micro-organismes sont intégrés. Ce mucus permet aux bactéries d'être protégées contre les phénomènes extérieurs extrêmes. Il est surtout impliqué dans le développement et la croissance du voile bactérien. Ainsi, les biofilms acquièrent des propriétés que ne pourrait avoir une cellule bactérienne vivant isolée.

Les tapis microbiens fossiles découverts au Gabon par l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP – UMR 7285 CNRS / Université de Poitiers) font l'objet de plusieurs centres d'intérêts notamment pour l'étude des paléoenvironnements anciens de deux milliards d'années mais aussi sur les traces chimiques possibles laissées par le métabolisme cellulaire. Par ailleurs, ils ont été retrouvés dans la même localité où les premiers macro-organismes multi-cellulaires sur Terre furent observés, à Franceville. Cette découverte a permis de renforcer l'idée qu'un biota* a existé « tôt » dans l'histoire de la Terre.

" ...ces structures appelées cercles « farfelus »... "

UNE CROISSANCE RÉPÉTITIVE

Chez les géomicrobiologistes, il est important de comparer la morphologie des formes fossiles avec celle des formes actuelles afin de déterminer les bactéries impliquées. Les bactéries sont les premiers êtres vivants sur Terre, par conséquent dans l'histoire de l'évolution, elles sont restées très conservatrices dans leur façon de se développer. Le mode de croissance chez les microbes suit une règle simple : le coût énergétique doit être le plus faible possible. Majoritairement, leur développement est provoqué par des facteurs environnementaux externes aux bactéries c'est-à-dire une croissance successive, en direction de la lumière (vers le haut) ou en réponse à un apport de nutriments (mouve-

ments latéraux). Les photons et/ou les nutriments sont les ressources primordiales pour les réactions métaboliques afin de produire le composé organique commun à toutes les formes de vie : l'adénosine triphosphate ou ATP.

Quelques biofilms fossiles du Gabon montrent une exceptionnelle organisation concentrique. C'est cette même croissance bactérienne que l'on retrouve dans les marais salants, en France, en Inde et en Tunisie, par exemple. L'agencement en cercle reflète une réaction à un apport de petites bulles de gaz avec des nutriments venant du substrat. D'après des analyses génétiques par les microbiologistes ces structures appelées cercles « farfelus » sont uniquement réalisées par des cyanobactéries, des bactéries tirant leur énergie de la photosynthèse et capables de produire de l'oxygène. Ainsi, les chercheurs ont pu établir que certains voiles microbiens du Gabon étaient constitués de cyanobactéries prospérant dans des milieux calmes et sous une faible tranche d'eau. Ce type spécifique de bactérie a souvent été répandu depuis l'apparition de la vie sur Terre avec pour seule restriction écologique l'absence de lumière.

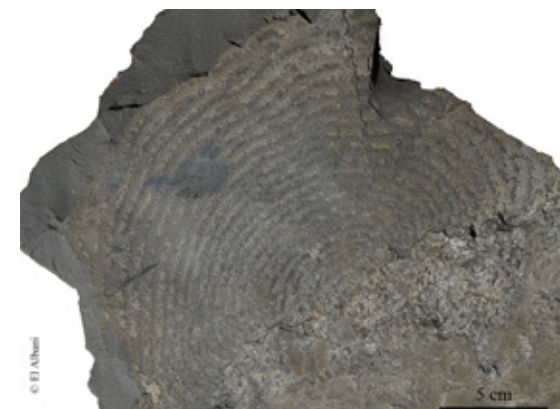
IDENTIFIER LES CRITÈRES BIOGÉNIQUES

Un des enjeux majeurs dans l'étude des voiles bactériens fossiles est de démontrer que les structures produites sont bien le résultat d'une activité biologique et non d'un artefact sédimentaire sans lien avec le vivant. Le parc analytique disponible dont la spectrométrie Raman a été utilisée pour déterminer la présence de carbone organique dans les tapis bactériens. Cette méthode, non destructive et rapide, est très sensible aux phases carbonées. Le carbone organique est un témoin clé de la présence de la vie, nécessaire au métabolisme de tous les êtres vivants.

Les voiles bactériens étudiés ont montré une excellente préservation des phases carbonées tandis que leur encaissant est dépourvu de carbone ce qui permet de les distinguer.

LE RÔLE MAJEUR DES TAPIS BACTÉRIENS DANS LA FOSSILISATION DE MACRO-ORGANISMES

On peut s'interroger sur le point de savoir comment des macro-organismes primitifs peuvent être aussi bien conservés tout au long des temps géologiques (plusieurs centaines de millions d'années). De manière récurrente, ces préservations montrent une association



Voile bactériens du Gabon avec une croissance concentrique.



Association des micro-organismes avec un macro-spécimen.

entre des tapis bactériens et des macro-fossiles. Cela a amené certains laboratoires spécialisés à réaliser de nombreuses cultures essayant de mettre en lumière les processus de fossilisation de petits animaux (mouches, poissons, grenouilles etc...) par les bactéries. Les résultats sont spectaculaires car les expériences menées sur plusieurs années, ont montré un retard de la dégradation des macro-organismes. En fait, les voiles bactériens intègrent dynamiquement les restes dégradés dans leurs cycles biochimiques et favorisent le processus de minéralisation des macro-organismes augmentant ainsi leur chance de préservation.

Ce processus de minéralisation a permis aux macro-fossiles du Gabon d'être conservés depuis plus de 2 milliards d'années, en partie grâce à l'intervention des bactéries sulfato-réductrices qui ont induit indirectement la minéralisation de cristaux de pyrite (FeS_2). Ce minéral se forme grâce à la réaction de minéraux ferrières détritiques avec le sulfure d'hydrogène (H_2S). L' H_2S quant à lui, est formé par la réduction des sulfates par les bactéries qui utilisent également la matière organique comme agent réducteur et de source d'énergie. De très nombreux cristaux micrométriques de pyrite ont ainsi remplacé les parties molles des spécimens préservant leurs formes et leurs tailles.

L'étude des tapis bactériens datés de plus de deux milliards d'années au Gabon est un projet multi-échelle et multidisciplinaire. Leur étude à l'échelle micrométrique pourrait permettre d'entrevoir les possibles interactions entre la partie organique et la partie minérale. La préservation d'un signal biologique vieux de deux milliards d'années au sein même des minéraux rendrait définitivement le Gabon, un chantier exceptionnel.

Jérémie AUBINEAU < IC2MP
jeremie.aubineau@univ-poitiers.fr
Abderrazzak EL ALBANI < IC2MP
abder.albani@univ-poitiers.fr
<http://ic2mp.labo.univ-poitiers.fr/>

* Un biota est une communauté d'organismes vivants, historiquement établie dans une région géographique particulière.

Échantillonner Mars, une ambition orléanaise !

Des étudiants, des lycéens et des chercheurs orléanais planchent actuellement sur l'instrument qui pourrait bouleverser les techniques d'analyse des roches martiennes *in situ*.

L'objectif des missions d'exploration à la surface des corps rocheux de notre système solaire est d'en étudier la géologie, d'y détecter des molécules organiques ou encore d'y chercher de potentielles traces de vie passée ou actuelle. Les roches (glaces incluses) constituent donc le matériel de base de beaucoup d'analyses. Sur Terre, cette démarche scientifique s'effectue en trois étapes : observations et interprétations sur le terrain, observation de fragments de roches et étude en lames minces. Les lames minces pétrographiques, c'est-à-dire des sections de roche de quelques centimètres de côté et d'une trentaine de micromètres d'épaisseur, servent à identifier les minéraux qui composent la roche par microscopie optique en lumière polarisée transmise (pétrographie). Cette identification se fait notamment à partir de la couleur apparente des minéraux en lumière polarisée/analysée. La technique, vieille de plus de 150 ans, permet dans la grande majorité des cas une caractérisation géologique complète d'un lieu donné. La lame mince constitue donc un objet de base de la géologie, d'autant plus que son intérêt ne se limite pas à la minéralogie. En effet, l'observation en lame mince permet également d'observer d'éventuels organismes fossiles et de faciliter grandement la réalisation d'analyses complémentaires par de nombreuses techniques (microscopie électronique et imagerie de spectroscopie Raman par exemple).

TOUT UN SAVOIR-FAIRE !

La fabrication d'une lame mince de roche se fait en plusieurs étapes. Tout d'abord, le morceau de roche est enrobé dans de la résine afin de lui donner la compétence nécessaire aux différentes phases de préparation. Le préparateur, appelé litholamelleur, découpe alors un parallélépipède (un sucre) dans le bloc qu'il vient ensuite coller à la surface d'une lame de verre. Le sucre est ensuite coupé parallèlement à son support en verre et seule une centaine de micromètres de roche

est conservée. Afin de diminuer encore l'épaisseur tout en conservant le parallélisme des faces, le litholamelleur utilise un disque abrasif. C'est la phase de rodage après laquelle il ne reste qu'une trentaine de microns d'épaisseur de roche à la surface de la lame de verre. Enfin, la surface est polie afin d'avoir un état de surface optimal pour les observations et les analyses. Durant toutes ces étapes, la dextérité et le savoir-faire du litholamelleur sont cruciales.

" Il n'existe à ce jour aucun système spatial de préparation de lames minces..."

VERS UNE PRÉPARATION AUTOMATISÉE POUR L'EXPLORATION PLANÉTAIRE

Conscient de la nécessité d'observer les roches en lames minces, un système semi-automatique a été développé dans les années 60 pour permettre aux astronautes des missions Apollo de préparer ce type d'échantillons à la surface de la Lune. Ce système tout-en-un nécessitait cependant l'intervention humaine entre les différentes étapes. Il n'a finalement pas été utilisé, la fabrication des lames étant plus facile sur Terre à partir des roches lunaires rapportées. Il n'existe à ce jour aucun système spatial de préparation de lames minces pétrographiques totalement automatisé pour l'exploration planétaire. L'automatisation du protocole de préparation reste difficile. Les limitations techniques imposées par la spatialisation d'un instrument, en termes de masse, de volume et d'énergie, sont très contraignantes.

UN PROJET COLLABORATIF ET INTERDISCIPLINAIRE

Et pourtant le défi est en passe d'être relevé par une équipe de scientifiques composée de géologues, physiciens, roboticiens, ingénieurs



Le groupe des 5 étudiants en charge du projet en plein travail au lycée Benjamin Franklin d'Orléans.

et techniciens issus de plusieurs laboratoires*, accompagnant des étudiants de l'école Polytech'Orléans et des élèves de BTS du Lycée Benjamin Franklin. Avec le soutien financier du CNES, elle s'est donc intéressée à l'automatisation complète de la préparation.

Mars constitue une cible de prédilection pour l'analyse en lames minces : grande variété géologique, présence possible de traces de vie fossile, relative facilité d'accès, conditions environnementales favorables. Dans un premier temps, le cahier des charges fonctionnel d'un tel instrument a été rédigé en concertation. Puis des tests de découpe, rodage et polissage en l'absence d'eau liquide ainsi que des mesures de consommations énergétiques ont été réalisés afin de vérifier la faisabilité de ces étapes lors d'une mission sur Mars. L'étude s'est ensuite poursuivie avec l'automatisation de la procédure à proprement parler et un protocole permettant de réaliser la préparation des lames a été proposé par les chercheurs. Au final, un système composé de trois disques superposés pouvant tourner indépendamment les uns des autres a été imaginé. Il permet de déplacer l'échantillon au travers des différentes étapes de préparation : enrobage, découpe, collage, rodage et polissage. Il pourra, du moins en théorie, transformer une carotte rocheuse centimétrique, similaire à celles qui seront réalisées sur Mars lors de la mission ExoMars 2020, en une lame mince pétrographique standard prête à être observée.

DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

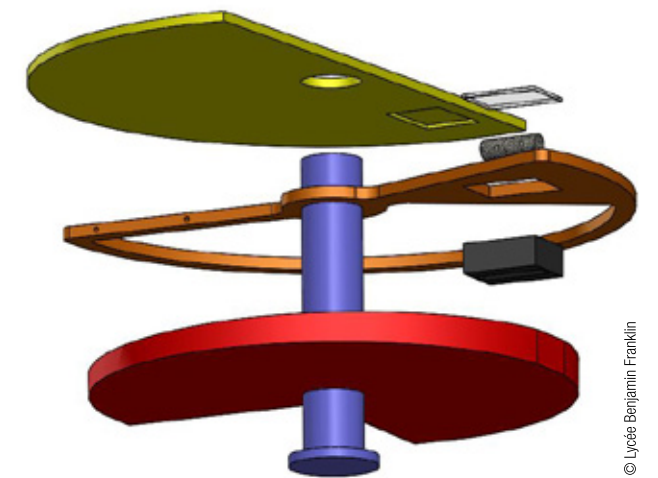
Entre la théorie et la pratique il y a souvent un monde ! À partir du schéma de principe, une importante période d'optimisation du protocole a donc eu lieu. Dans cette étape, l'équipe de chercheurs a reçu l'aide

De l'intérêt de la lame mince en géologie

L'étude pétrographique des roches en lames minces n'est pas nouvelle. Les premières lames ont été réalisées par William Nicol en 1831. L'idée est d'observer la microstructure de la roche (texture, minéraux, fossiles...) en transparence à l'aide d'un microscope optique. L'identification des minéraux par cette méthode sera améliorée par la suite par Auguste-Michel Lévy à la fin du XIX^{ème} siècle en utilisant les propriétés de polarisation de la lumière (charte de Michel Lévy, 1888). Cette méthode est très importante, des roches de compositions élémentaires identiques pouvant se différencier par la taille des cristaux qui les composent (basaltes et gabbros par exemple).

d'étudiants de Master 2 de l'école Polytech'Orléans se spécialisant en mécatronique et conception de système. Ils ont proposé des solutions techniques pour les étapes critiques de l'enrobage et de la motorisation des disques. Un modèle numérique 3D d'une maquette de démonstration a également été développé.

Afin de démontrer le fonctionnement de l'instrument, il a été décidé d'un commun accord entre tous les contributeurs de construire un modèle physique du système. Pour ce faire, les chercheurs ont alors appelé en renfort les enseignants du lycée Benjamin Franklin d'Orléans. Un groupe de 5 étudiants du BTS CPI (conception de produits industriels) a ainsi été désigné pour travailler toute l'année 2017-2018 sur le projet. Ils ont déjà avancé sur plusieurs fonctions dont le développement



© Lycée Benjamin Franklin

Prototype de système de préparation de lames minces automatisé. Modèle numérique en cours de développement par les étudiants du BTS CPI du lycée Benjamin Franklin d'Orléans.

d'un système pour enrober l'échantillon dans la résine et un autre pour emmener et stocker les supports en verre. Ils travaillent également à l'optimisation du système de plateaux tournants et peaufinent le modèle numérique 3D. La maquette physique devrait voir le jour dès 2018 afin d'être présentée aux différentes agences spatiales (ESA, CNES, NASA) en vue d'une possible spatialisation lors d'une prochaine mission. Mais le système développé pourrait également trouver des applications dans d'autres domaines scientifiques et industriels ou les lames minces sont utilisées (archéologie, matériaux...)

*Les chercheurs, ingénieurs et techniciens impliqués dans le projet sont issus du CNES, du Centre de Biophysique Moléculaire (CBM UPR CNRS 4301), de l'Institut des Sciences de la Terres (ISTO UMR 7327 CNRS/Université d'Orléans/BRGM), du laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique (PRISME, UPRES 4229 Université d'Orléans), du Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E UMR 7328CNRS/Université d'Orléans), et du laboratoire Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation (CEMHTI UPR CNRS 3079).

Frédéric FOUCHER < CBM
frederic.foucher@cns-orleans.fr

Sylvain JANIEC < ISTO
sylvain.janiec@univ-orleans.fr

Aïcha FONTE & les étudiants < POLYTECH' ORLÉANS - PRISME
aicha.fonte@univ-orleans.fr

Les professeurs et étudiants du Lycée Benjamin Franklin
http://cbm.cnrs-orleans.fr/



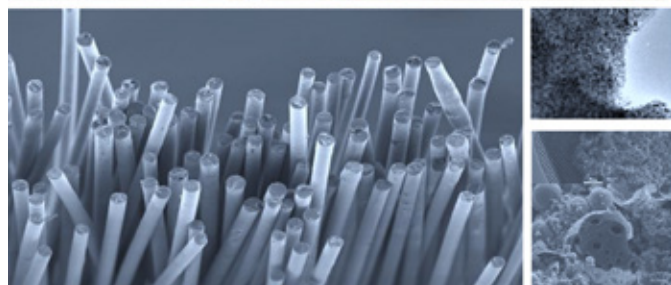
Échantillons massifs et lames minces associées avec de gauche à droite du bois silicifié d'Arizona (200 millions d'années), un échantillon de la formation Draken, Svalbard (800 millions d'années), et un échantillon de la formation Gunflint, Canada (1,9 milliards d'années).

© Frédéric FOUCHER - CBM

Coup de chaud sur les polymères...

Une compétition internationale s'organise pour l'élaboration de matériaux haute température. L'Institut de Recherche sur les Céramiques à Limoges s'est engagé dans la voie originale des polymères précéramiques.

Trois grandes familles de matériaux sont classiquement recensées : les métaux, les polymères et les céramiques. Leurs propriétés en général bien différenciées, en font leur richesse. Il est toutefois possible de traverser les frontières pour synthétiser, par exemple, des céramiques techniques à partir de polymères. Cette voie d'élaboration inédite peut générer des matériaux avancés pour des applications « hautes températures », jusqu'à 1500 °C, dans les domaines de l'aéronautique ou du nucléaire. Ils réunissent aussi des fonctions particulières pour des applications dans les domaines de l'énergie et de l'environnement.



Exemples de céramiques élaborées par la voie des PDCs au laboratoire : des verreries « Schlenk » pour la synthèse sous atmosphère contrôlée, et différentes micrographies électroniques de différentes céramiques.

LES POLYMÈRES COMME MATIÈRES PREMIÈRES

L'élaboration conventionnelle d'un objet céramique implique trois étapes fondamentales qui sont la synthèse de poudres, la mise en forme et le traitement thermique de densification ou frittage. Toutes les étapes du procédé ont leur importance. Elles permettent de fabriquer des céramiques techniques avec des applications multiples. Deux grandes catégories se dégagent alors : les céramiques de type oxyde et les céramiques de type non-oxyde. Ces dernières, généralement destinées à des applications pour les hautes températures, peuvent apporter une faculté singulière d'ordre optique, magnétique, électrique, etc...

La méthode spécifique de fabrication des céramiques dérivées de polymères (« Polymer-Derived Ceramics » ou PDCs) comporte de nombreux avantages : des céramiques à façon peuvent être fabriquées, avec des compositions chimiques contrôlées pouvant être complexes, et dans des architectures inédites rendues possibles par une facilité de mise en forme des polymères précéramiques (= précurseurs). Pour atteindre la céramique à partir de polymères précéramiques, un traitement thermique, faisant apparaître plusieurs étapes de structuration,

est requis comme dans tout procédé céramique. Jusqu'à 400 °C, les polymères subissent une réticulation, qui « rigidifie » le réseau polymérique afin d'éviter les pertes de masse trop importantes ultérieurement. En effet, le rendement céramique, défini comme la masse de céramique exprimée en pourcentage de la masse de précurseur utilisé dans le processus de céramisation, doit être le plus élevé possible afin de rendre le procédé optimal, et dans l'idéal supérieur à 80%.

Lors de la pyrolyse, la céramisation peut s'étendre jusqu'à 1400 °C. Elle assure la transition de l'organique/organométallique vers l'inorganique pour atteindre une céramique amorphe. Cette dernière peut être ensuite cristallisée à des températures supérieures, par l'intermédiaire d'un recuit.

DES POLYMÈRES QUI ONT LA FORME...

Préalablement à la réticulation, les polymères peuvent être mis en forme au moyen de différentes techniques : l'imprégnation, le coulage en bande, la fabrication additive, l'extrusion, le pressage, la spray-pyrolyse etc... Il est ainsi possible de fabriquer des nanopoudres, des fibres, des revêtements, des pièces denses ou même d'accéder à des pièces de géométries plus complexes. Associées à des procédés de structuration/texturation plus spécifiques, ces différentes techniques permettent également de façonner la porosité à différentes échelles (de la micro à la macroporosité) des céramiques.

" Une rotation du plan sollicite la matière et donne accès à son comportement à l'écoulement... "

Afin d'identifier le procédé de mise en forme le plus adapté, les propriétés d'écoulement des polymères sont étudiées à l'IRCER (UMR7315 Université de Limoges / CNRS). Grâce à un rhéomètre couplé à un spectromètre infrarouge, il est ainsi possible d'accéder à des informations primordiales telles que la viscosité des polymères, mais également leur structure moléculaire, via les renseignements obtenus sur les liaisons chimiques. Le polymère est déposé sur une fenêtre diamant pour l'analyse par spectroscopie infrarouge, et le plan mobile supérieur descend au contact du précurseur. Une rotation du plan sollicite la matière et donne accès à son comportement à l'écoulement, pour une température allant jusqu'à 400 °C, sous atmosphère inerte, pour éviter l'incorporation d'oxygène dans les précurseurs.

...VERS DES CÉRAMIQUES HAUTES PERFORMANCES.

Les propriétés des céramiques sont directement reliées à leurs structures. L'idée générale de cette voie d'élaboration à l'IRCER est de définir les agencements atomiques des céramiques en fonction de la composition moléculaire des polymères précéramiques. Ainsi, les chercheurs peuvent générer des céramiques hautes performances avec des structures amorphes stables en température à travers un choix approprié des éléments constituant le polymère.

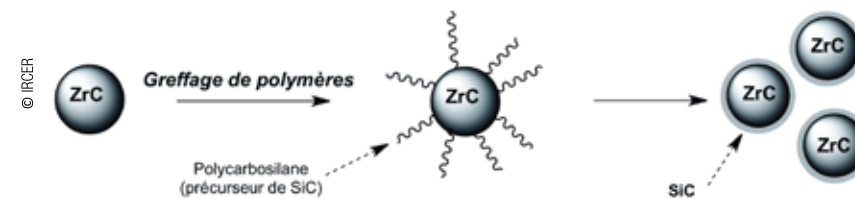


Étude des propriétés d'écoulement des précurseurs de céramiques grâce à un rhéomètre couplé à un spectromètre infrarouge

Ils sont aussi en capacité de proposer des nanocomposites dans lesquels des nanocristaux se séparent directement dans la matrice céramique par modification chimique du polymère.

Cette caractéristique propre aux méthodes chimiques d'élaboration de céramique offre un panel de propriétés les rendant applicables dans des domaines comme les matériaux de structure, pour les gaines de combustibles dans le nucléaire, les aubes de turbine, les chambres de combustion de réacteurs d'avion etc. Avec des précurseurs judicieusement sélectionnés, synthétisés dans des ballons « schlenk », verreries utilisées pour les réactions sensibles à l'air, il est même possible de fabriquer des fibres non-oxydes, des matériaux à porosité contrôlée ou hiérarchisée etc...

Les céramiques et les polymères peuvent aussi « se rencontrer » pour mener à des composés hybrides de type cœur-coquille. La coquille polymérique périphérique, une fois traitée thermiquement peut « protéger » le noyau céramique, en carbure de zirconium (ZrC) par exemple, contre l'oxydation, grâce au revêtement généré comme du carbure de silicium (SiC).



Voie cœur-coquille pour protéger le carbure de zirconium vis-à-vis de l'oxydation

C'est une nouvelle voie de recherche vers des composites dits auto-cicatrisants qui s'ouvre à l'IRCER en collaboration avec le LCMCP, le LEDNA, et l'UCCS* en France et le laboratoire Gordon de l'Université de Cambridge au Royaume-Uni.

Sylvie FOUCAUD < IRCER
sylvie.foucaud@unilim.fr

Samuel BERNARD < IRCER
samuel.bernard@unilim.fr

Romain LUCAS < IRCER
romain.lucas@unilim.fr

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

* LCMCP : Laboratoire Chimie de la Matière Condensée, UMR 7574, Paris
LEDNA : Laboratoire Edifices Nanométriques, CEA, Saclay
UCCS : Unité de Catalyse et de Chimie du Solide, UMR 8181, Lille.

Faut-il se séparer des banques ?

En Europe continentale le financement des agents économiques se fait principalement par l'intermédiaire des banques. Mais aujourd'hui divers organismes et décideurs publics proposent d'accroître le recours des petites et moyennes entreprises aux marchés de capitaux. Est-ce souhaitable ? Quelles en seraient les conséquences ?

L'intermédiation financière désigne le mécanisme qui consiste à assurer la liaison entre des agents non financiers à capacité de financement (épargnants) et des agents à besoins de financement (entreprises et administrations déficitaires). Ce rôle est essentiellement assuré par les banques. On distingue ce financement « intermédié » du financement « de marché », qui s'opère directement entre agents sur les marchés financiers.

DEUX SYSTÈMES, DEUX ARGUMENTAIRES

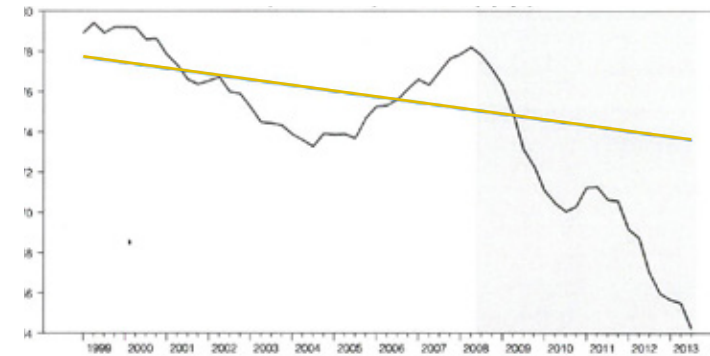
Même si le financement intermédié demeure prépondérant en Europe, il existe une tendance à la « désintermédiation », qui désigne le développement du financement de marché au détriment du financement intermédié. Il faut y ajouter les opérations de titrisation, c'est-à-dire les crédits distribués par les banques mais que celles-ci transforment en titres susceptibles d'être vendus sur des marchés. Or, la gravité et la persistance de la crise amorcée en 2008 a conduit à penser qu'il fallait réduire la part de l'intermédiation bancaire dans le financement des économies européennes. Cette orientation préconisée par divers organismes internationaux (dont le Fonds Monétaire International, la Banque Centrale Européenne, la Commission Européenne...) repose sur des arguments qui méritent que l'on s'y arrête : implicitement, il existerait une architecture optimale des systèmes financiers dont les déterminants seraient connus et échapperaient aux contingences nationales.

Pourtant, les travaux existants ne permettent pas de valider ce point de vue et appellent des recherches complémentaires. Plus formellement,

la volonté d'en finir avec une présumée « surbanclarisation » européenne répond à deux principaux objectifs : d'une part améliorer les conditions de financement des petites et moyennes entreprises (PME) et des entreprises de taille intermédiaire (ETI, entre 250 et 4999 salariés), d'autre part assurer une meilleure stabilité des systèmes réels et financiers.

LE CRÉDIT BANCAIRE TOUJOURS D'ACTUALITÉ

En ce qui concerne le premier objectif, il est douteux que l'on puisse réduire significativement les coûts de financement des PME et ETI en facilitant leur accès aux marchés financiers. Il n'est d'ailleurs pas évident que les firmes européennes, quelle que soit leur taille, subissent sur le plan des conditions de financement un désavantage compétitif. De façon générale, le coût élevé des émissions d'actions rapporté au montant des capitaux levés, ainsi que les exigences d'information rendent les financements directs peu intéressants, sinon réductibles pour ces entreprises. De plus, contrairement à une idée reçue, ce n'est pas sur les marchés que les entreprises naissantes peuvent se procurer des fonds propres ; ceci relève plutôt de l'intervention en fonds de capital investissement (donc de l'intermédiation). Quant aux opérations de titrisation il reste à démontrer qu'elles permettent aux banques de réduire leurs ressources et donc le coût de leurs crédits. Cela exige des conditions sur le niveau et la structure des taux d'intérêt qui sont aujourd'hui difficilement satisfaites et pourraient ne pas l'être mieux à l'avenir.



Le graphique montre l'évolution du taux d'intermédiation au sein de la zone euro. Le taux d'intermédiation se mesure comme le rapport des crédits bancaires sur l'ensemble de la dette privée : Crédits/(Crédits + Titres).

LES BANQUES ENCAISSENT... LES CHOCES

S'agissant du second objectif, l'argument selon lequel la désintermédiation renforcerait la stabilité des économies repose sur des bases très fragiles. Certes, certains travaux établissent que les récessions accompagnées de crises bancaires ont un impact violent et durable sur l'activité. D'autres ont tenté de montrer que les reprises sont plus rapides et vigoureuses dans les économies plutôt financées par les marchés. Mais dans l'un et l'autre cas on fait référence à des événements rares, et imputables d'ailleurs, pour partie, à des défaillances dans les dispositifs de régulation et de supervision bancaires. Au contraire, dans le cas plus général, les banques amortissent les chocs réels et financiers de moindre importance, parce qu'elles entretiennent des relations de long terme avec leur clientèle et qu'elles lissent les conditions de crédit. À l'opposé, les marchés ont tendance à sur-réagir et à amplifier les aléas conjoncturels. Quant à la titrisation, l'expérience récente s'est amplement chargée de démontrer qu'elle peut être à l'origine d'une aggravation du risque systémique.

Il faut ajouter que la désintermédiation implique un report des risques sur les ménages, qui pourraient alors se détourner de l'épargne bancaire traditionnelle, moins rémunératrice (accordant moins de crédits, les banques seraient moins incitées à attirer l'épargne), au profit d'actifs émis par les entreprises. Il en résulterait une plus forte variabilité des revenus des ménages, un accroissement des primes de risque exigées par des agents soucieux de la sécurité de leurs placements, et une amplification des fluctuations financières et économiques.

"... les financements de marché... incitent à privilégier les intérêts des apporteurs de capitaux."

BOULEVERSER L'ÉQUILIBRE

Plus encore, l'évolution des rapports des firmes à leur environnement financier devrait modifier le modèle d'entreprise. L'existence de relations de long terme entre banques et entreprises permet à celles-ci d'entretenir des liens durables avec leurs parties prenantes (salariés, fournisseurs, clients). Tandis qu'à l'inverse, les financements de marché contraignent l'horizon stratégique des firmes et les incitent à privilégier les intérêts des apporteurs de capitaux. Dans un environnement financier plus désintermédié les firmes devraient donc compenser la perte de flexibilité que leur offre l'actuel système par des relations de plus court terme avec leurs parties prenantes et notamment avec leurs salariés. Elles chercheront à mettre en place des politiques d'emploi plus souples, pour adapter la gestion de leurs ressources humaines à

l'horizon des marchés financiers. Or elles n'ont pas une maîtrise totale de leurs décisions dans ce domaine, qui dépend de lois et de règles forgées par l'histoire, par les préférences sociales et des choix politiques. Ce qui peut faire naître des incohérences graves ou obliger à revoir les normes sociales comme sont tentés de le faire aujourd'hui certains pays.

Autrement dit, il existe des complémentarités institutionnelles entre les différentes dimensions d'un système économique et social. On ne peut transformer le système financier sans réfléchir à son adéquation avec le modèle de gouvernance des firmes, les conditions de fonctionnement du marché du travail, les relations entre firmes, les formes des régimes de retraites. Oublier ce principe serait une faute lourde de conséquences.

Grégory LEVIEUGE < LEO
gregory.levieuge@univ-orleans.fr

Jean-Paul POLLIN < LEO
jean-paul.pollin@univ-orleans.fr

www.univ-orleans.fr/leo

Glossaire

Fonds de capital investissement : institutions financières dont la fonction consiste à prendre des participations dans le capital (les fonds propres) de petites et moyennes entreprises pour permettre leur création (on parle alors de capital risque), leur développement, ou leur transmission.

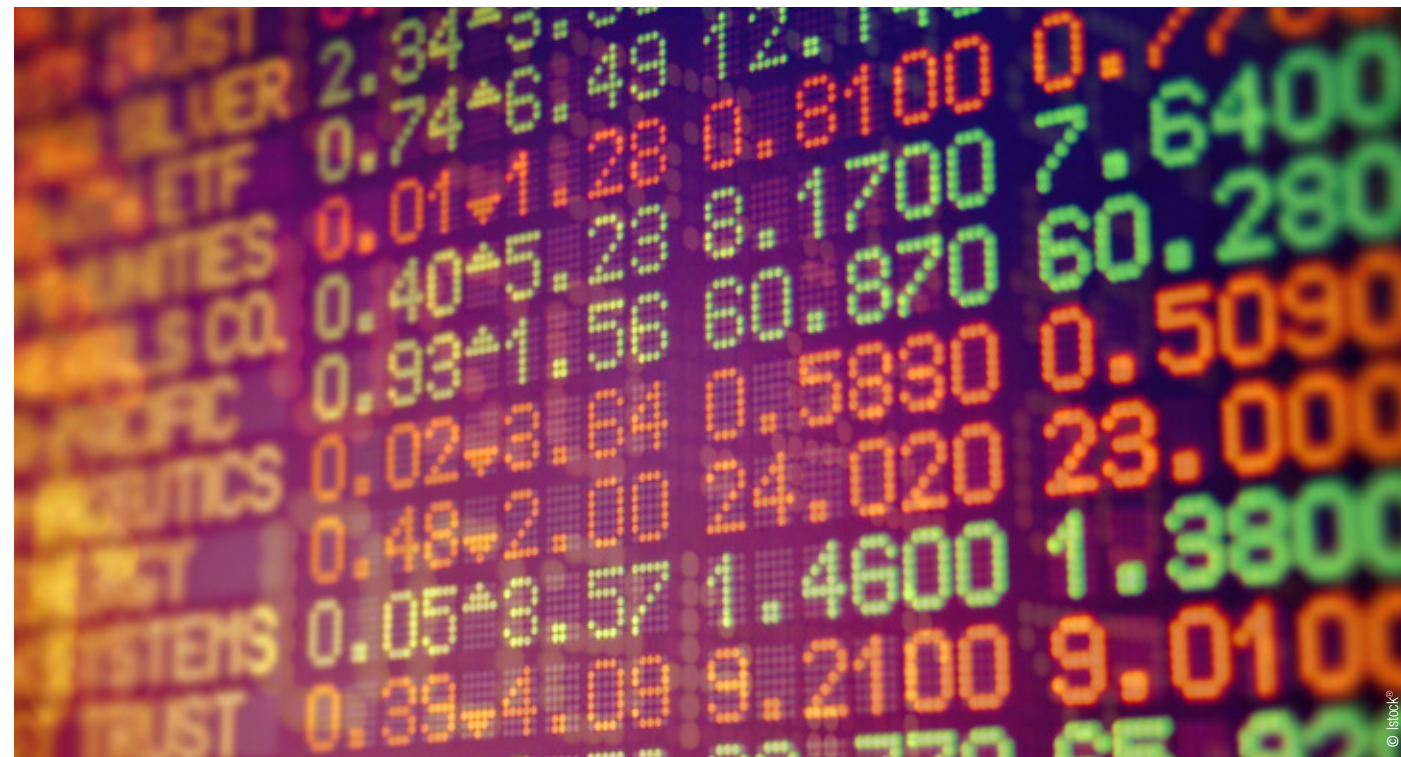
Régulation bancaire : ensemble des exigences réglementaires qui encadrent l'activité des banques, à des fins de stabilité financière.

Risque systémique : risque de dégradation brutale de la stabilité financière.

Supervision bancaire : surveillance, par les autorités compétentes, du comportement des institutions qui forment le système bancaire.

Système financier : ensemble des intermédiaires (banques, assurances, fonds d'investissement) et des marchés qui mettent en relation les apporteurs (agents à capacité de financement) et les demandeurs de capitaux (agents à besoin de financement).

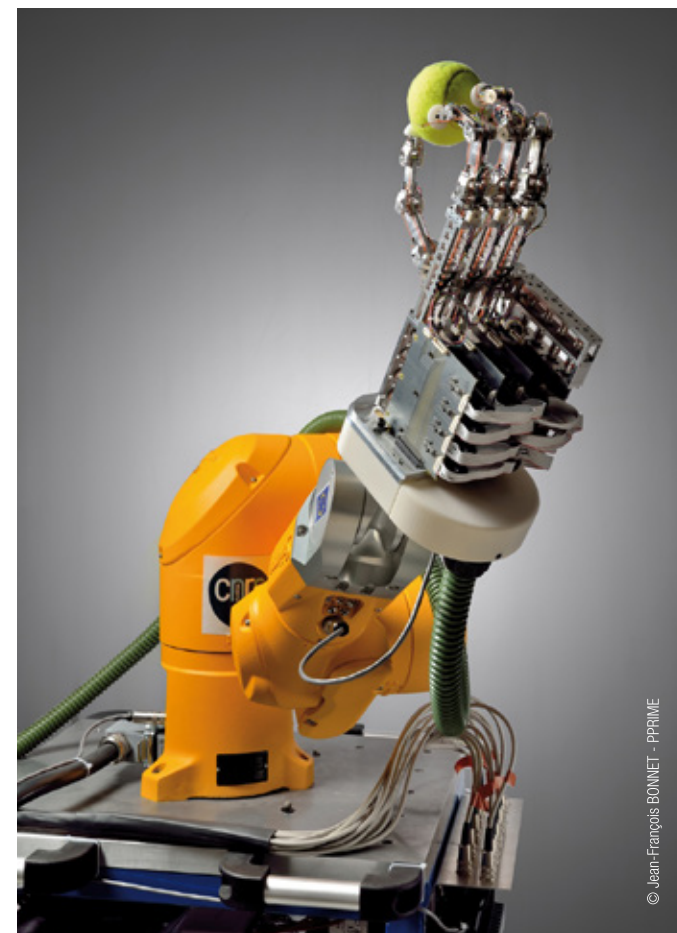
Firme : en économie, firme est synonyme d'entreprise



La performance au bout des doigts

Durant la dernière décennie, le développement de la robotique d'assistance aux personnes et l'apparition de situations de travail partagé entre des robots et des opérateurs humains ont accéléré la demande de solutions flexibles pour la saisie d'objets et leur manipulation.

La conception de mains robotiques est un sujet de recherche actif depuis une trentaine d'années. Pour les chercheurs en robotique, la main humaine reste un modèle de flexibilité et d'universalité par les capacités d'adaptation qu'elle offre. La reproduction d'une telle dextérité reste un challenge pour la communauté scientifique. Plus d'une centaine de mains ont été développées sur la scène internationale, mais les niveaux de performance de ces dispositifs ne sont pas conformes aux usages attendus et leur trop grande complexité reste un frein à leur transfert.



DU ROBOT AU COBOT

Un rapport du département du commerce des États-Unis fixait, en 2014, une feuille de route pour le développement de mains robotiques pour l'industrie. L'objectif, à horizon 15 ans, est la réalisation de préhenseurs dotés d'une perception tactile offrant simultanément une saisie robuste et des capacités de manipulation fine des objets saisis à l'intérieur de la main.

L'état actuel du contexte industriel de la préhension présente deux types de solutions : des préhenseurs spécifiques, dédiés à une application et à des types d'objet particuliers ou des préhenseurs génériques simples basés sur des pinces à deux doigts ou des combinaisons de

systèmes de ventouses. Les mains robotiques issues de la recherche académique peuvent souvent faire de la saisie adaptative, c'est-à-dire qu'elles peuvent prendre par empaument des objets de géométrie variée. Pour étendre les possibilités d'interaction des préhenseurs, des possibilités de manipulation fine sont également recherchées. Il s'agit dans ce cas de pouvoir contrôler le déplacement de l'objet saisi entre les bouts de doigts. Le développement de ce type de dispositif est nécessaire dans le cadre de la robotique collaborative ou cobotique. Ce concept est une extension de la robotique aux situations de travail collaboratif entre un robot et un opérateur humain. Des exemples d'applications se trouvent dans la robotique de service où les robots doivent pouvoir prendre les objets utilisés par des personnes et dans l'industrie où des robots et des opérateurs humains vont partager leur espace de travail ou coopérer sur une tâche commune. Cette nouvelle robotique permet de combiner la flexibilité, la dextérité de l'humain et sa capacité à résoudre des problèmes avec la force, l'endurance et la précision du « cobot » (robot collaboratif).

Pour répondre à ces enjeux de flexibilité et d'interaction du cobot avec l'humain, il est indispensable de le doter à terme de capacités de saisie et de manipulation évoluées comparables à celle que l'humain peut produire.

"...le démonstrateur le plus complexe possible a été réalisé..."

La conception d'un préhenseur complexe se heurte cependant à la résolution d'un nombre de difficultés important. Il faut l'intégrer sur un bras robotique avec un haut de niveau de coordination bras-main et assurer également la coordination entre les différents doigts. Cela impose le développement d'une architecture mécanique qui minimise les effets non linéaires (frottement, jeux et couplages entre les articulations). Il est également nécessaire d'évaluer les efforts de saisie et de localiser les zones de contacts entre les doigts et l'objet saisi pour sécuriser la prise. Enfin, il faut respecter des contraintes d'encombrement exigeantes pour avoir l'espace de travail entre les doigts le plus grand possible.

UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE MAINS ROBOTIQUES

La première main multi-digitale développée à l'institut Pprime (UPR 3346) a été classée parmi les 100 faits marquants du CNRS et elle a, à cette occasion, été présentée lors de l'exposition universelle de Hanovre en 2000 sous le pavillon France.

Plus récemment, une nouvelle approche a été mise en œuvre au sein du laboratoire pour créer de nouvelles mains robotiques optimisées. Un principe de doigt modulaire a été développé et a fait l'objet d'un brevet CNRS en 2014. L'intégration de plusieurs doigts sur une paume, l'optimisation des longueurs des phalanges et le degré d'actionnement retenu permettent de répondre à de nombreux types de besoins en préhension.

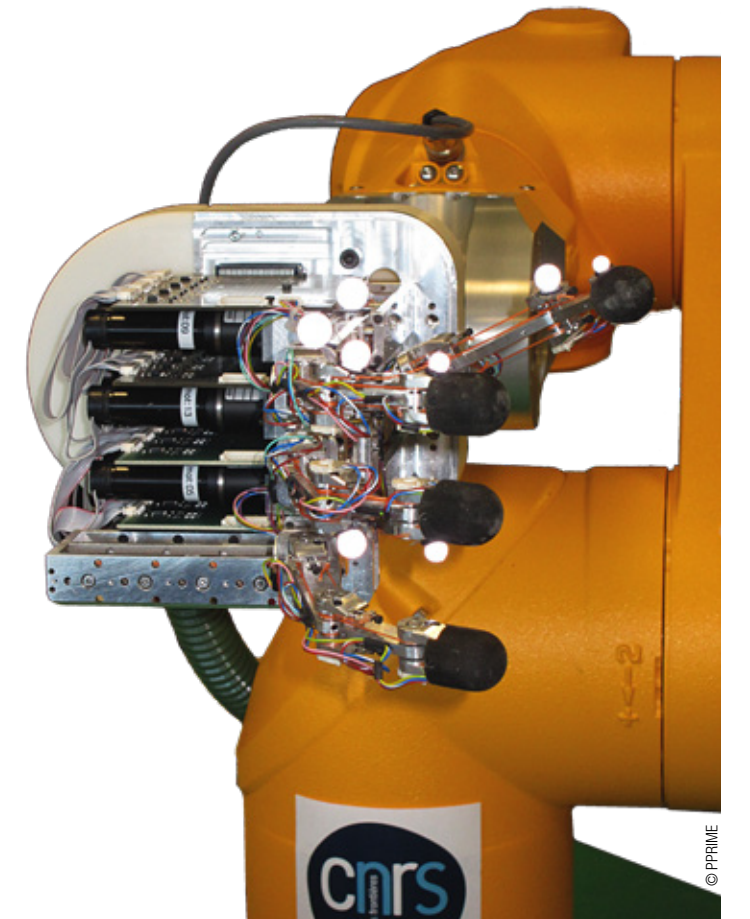
Le doigt robotique proposé présente un entraînement par câbles où les mouvements de flexion entre phalanges ne sont pas dépendants du mouvement d'abduction-adduction (l'ouverture – fermeture latérale des doigts) et les frottements dans les liaisons ont été minimisés. L'actionnement électrique est déporté sur le dos de la main ou dans l'avant-bras pour obtenir un design compact de la partie active de la main.

Pour valider cette architecture de mécanisme propre au doigt breveté, le démonstrateur le plus complexe possible a été réalisé : une main aux dimensions et à l'implantation des doigts anthropomorphes, composée de quatre doigts et seize articulations. Cette main est totalement actionnée et permet un contrôle en position indépendant de chacune des articulations.

La configuration de prise d'un objet est obtenue en maximisant les mouvements qu'il est possible de lui faire réaliser et le déplacement de l'objet par rapport à la paume de la main génère la loi de commande des articulations des doigts. Les quatre doigts se comportent comme quatre petits robots indépendants en situation de collaboration ; les seize degrés de liberté de la main sont synchronisés grâce à l'utilisation d'un contrôleur industriel et d'un bus de communication temps réel.

La conception d'une autre main basée sur ce doigt modulaire et paramétrable est en cours de réalisation dans le cadre d'un projet de recherche* au cahier des charges très différent. En effet, l'objectif du projet est de développer un système de préhension à retour d'effort destiné à être embarqué sur un mini sous-marin d'exploration. Ce petit véhicule téléopéré, équipé d'un système bras-main, va étendre la possibilité d'effectuer des fouilles archéologiques sous-marines à des profondeurs inaccessibles à des scaphandriers.

La méthodologie de conception de la main présente plusieurs étapes. Il faut d'abord identifier l'ensemble des prises d'objets utilisées par les archéologues



en scaphandre pour extraire les pièces archéologiques des sédiments ou des structures d'épaves. À partir de l'analyse d'un expert, plongeur et archéologue, du DRASSM**, une taxinomie des types de prises a été générée.

Une phase de définition d'architecture cinématique a ensuite permis de définir le nombre de doigts, leur implantation sur la paume, la longueur de chacune des phalanges des doigts, le choix des couplages entre articulations et le nombre d'actionneurs. Les contraintes d'optimisation étaient de maximiser le nombre de prises accessibles tout en minimisant le nombre d'actionneurs pour simplifier la conception de ce nouveau préhenseur qui doit opérer en grande profondeur.

La solution retenue s'éloigne très largement d'une main d'aspect anthropomorphique : elle présente trois doigts avec un pouce en opposition directe des deux doigts longs et un actionnement restreint à deux moteurs par doigts, soit six actionneurs au total.

Après la main à haut niveau de dextérité, destinée à évaluer les approches théoriques en manipulation fine et la main sous-marine, qui sera exposée à des conditions environnementales extrêmes, la famille continue de s'agrandir. Une version simplifiée fait l'objet d'un transfert technologique, pour obtenir un préhenseur industriel flexible et robuste.

Jean-Pierre GAZEAU < PPRIME
jean.pierre.gazeau@univ-poitiers.fr

Camille MIZERA < PPRIME
camille.mizera@univ-poitiers.fr

Philippe VULLIEZ < PPRIME
philippe.vulliez@univ-poitiers.fr

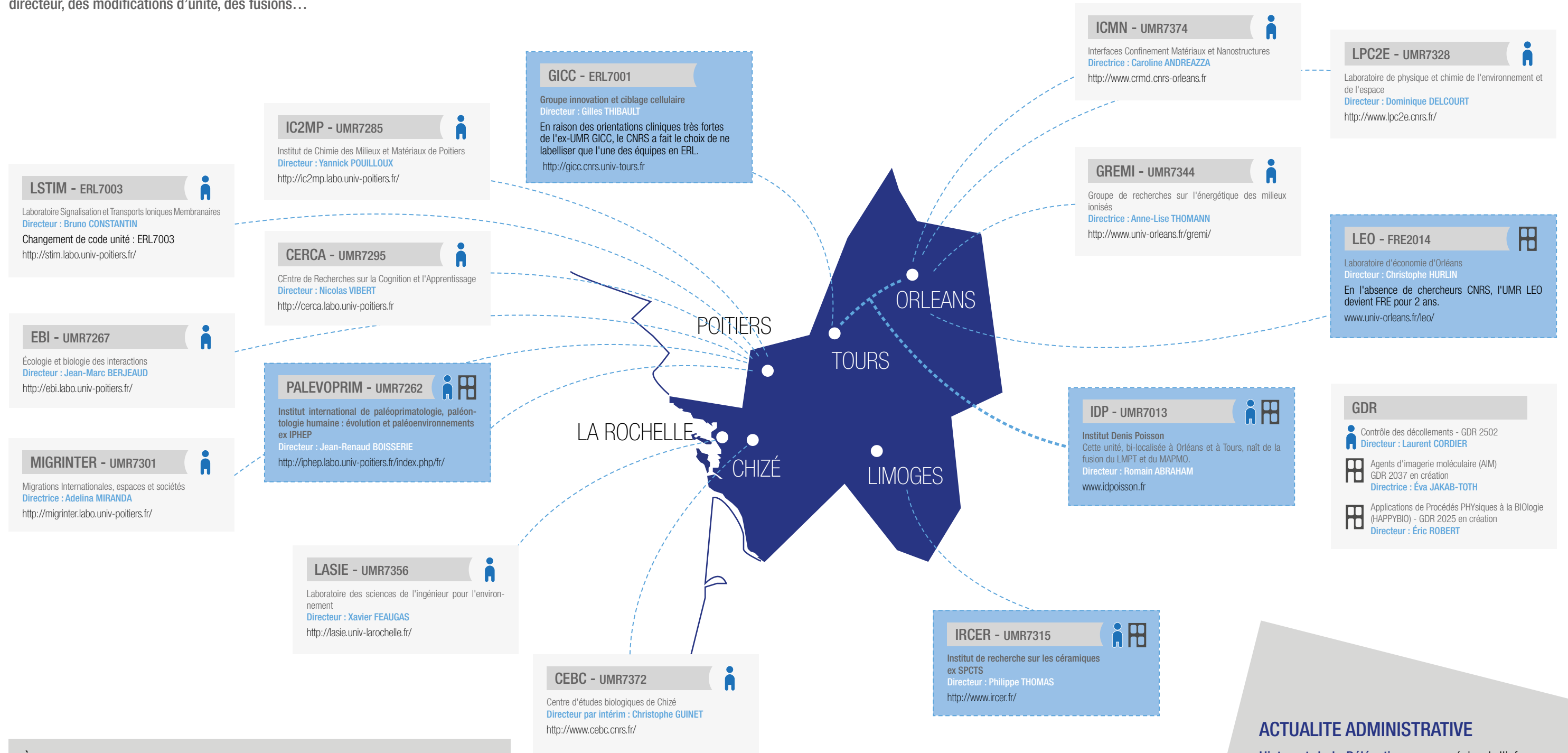
www.pprime.fr

* Projet ANR Seahand <http://anr-seahand.prd.fr>

** Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines, service relevant du Ministère de la Culture et de la Communication

Les évolutions dans notre circonscription au 1^{er} janvier

À la suite de la campagne d'évaluation de l'HCERES (Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur), certaines structures de recherche de la circonscription ont évolué dans leur organisation : des changements de directeur, des modifications d'unité, des fusions...



À noter :

- 25 unités et 9 GDR ont été purement et simplement **renouvelés au 1^{er} janvier**, sans aucun changement.
- Les FR (Fédération Acoustique du Nord-Ouest (FANO), Génomique, Environnement, Immunité, Santé, Thérapeutique (GEIST), Fédération des études supérieures du Moyen-Age et de la Renaissance (FESMAR), Énergétique, Propulsion, Espace, Environnement (EPEE)) **n'ont pas été reconduites**.
- **Jurisclope** - accès aux droits étrangers et promotion du droit français et du droit francophone (UMS 2268) **fermera en 2018**.

En savoir plus
www.dr8.cnrs.fr

ACTUALITE ADMINISTRATIVE

L'intranet de la Délégation, espace régional d'informations accessible aux personnels CNRS ou travaillant dans un laboratoire CNRS (via le code JANUS), se déploie à compter du 18 janvier. Des mises à jours seront faites au fil de l'eau. N'hésitez pas à les consulter régulièrement.

<https://intranet.cnrs.fr/delegations/dr8>



à venir...

Colloques

25^{èmes} Journées Jeunes Chercheurs de la SCT

Réunion de doctorants, post-doctorants et jeunes chercheurs confirmés académique/industriels, avec l'opportunité de présenter et de discuter les dernières innovations comme les futures tendances du domaine de la Chimie Médicinale.

<http://www.sct-asso.fr/>

05 au 07 mars

Limoges

27^{èmes} journées du Groupe Français des Glycosciences

Rassemblement, échanges entre des scientifiques issus de différents domaines : chimie, polymère, structure, biochimie, biologie, tant du secteur académique que du secteur industriel

<https://gfg2018.sciencesconf.org/>

05 au 07 mars

Limoges

CTC 2018

8^{ème} Conférence internationale sur la consommation des enfants et des adolescents
«Les Industries culturelles et créatives au prisme de l'enfance et de la jeunesse»

<https://ctc2018.sciencesconf.org/>

03 au 06 avril

Angoulême

Nature et villes : regards croisés franco-lusophones

Rassemblement d'urbanistes, de géographes et d'écologues souhaitant croiser les approches disciplinaires sur deux champs centraux : l'environnement et l'urbain.

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

13 au 15 juin

Tours

C GENIAL

C.gENIAL

Fondation pour la culture scientifique et technique

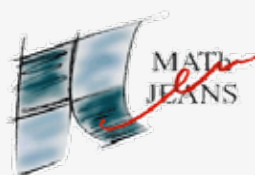
MANIFESTATION - Concours national ouvert aux lycéens et aux collégiens, visant à promouvoir l'enseignement des sciences et des techniques par la sélection de projets d'équipes réunissant les élèves et leurs enseignants. Finales nationales le 25 mai à la cité de l'espace de Toulouse.

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

4 avril

Orléans & Poitiers

MaTh.en.JEANS



MANIFESTATION - Depuis 1989, MATH.en.JEANS fait vivre les mathématiques par les jeunes, selon les principes de la recherche mathématique. Les élèves présentent leurs travaux à un congrès.

<http://www.mathenjeans.fr/Congres2018/Poitiers>

23 au 25 mars

Poitiers

Semaines études médiévales



Session annuelle internationale francophone de formation d'étudiants, doctorants et jeunes chercheurs, français et étrangers. Conférences, séances de travail autour des ressources documentaires, excursions et visites par des spécialistes du Moyen Âge venus du monde entier.

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

18 au 29 juin

Poitiers