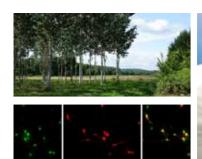
microscop

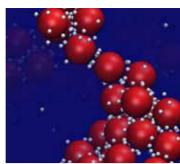
Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

n° 78 - juillet 2018

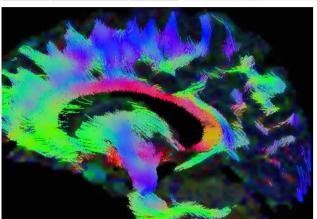






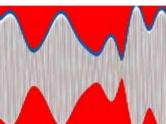














4 Environnement

- Les peupleraies en débat

⁶ Société

- Verbes et gestes
- VisualGraphs : un moyen original d'afficher des données

10 Biologie

- La douleur mise à mal

12 Histoire

 Le corps maltraité des femmes sous l'œil des experts

14 Mathématiques

- En tête à tête

16 Chimie

- La pile à combustible régénérative unifiée, du 2 en 1

18 Matériaux

- Petits arrangements entre... particules

²⁰ Physique

 Attention ça chauffe : vers la sobriété énergétique des futurs systèmes de télécommunications 5G

22 Actualités



ISSN 1291-8083

Photo couverture:

©A. ROBERT - CITERES - 2014

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 :

Arnaud Badets, Sophie-Anne Beauprez, Christel Bidet-Ildei, Philippe Bouysse, Manuella Cerbelaud, Frédéric Chauvaud, Julien Delage, Aurélien Habrioux, Kavita Kumar, Audrey Martin, Pierre Medrel, Séverine Morisset-Lopez, Têko Napporn, Angélique Perrillat-Mercerot, Laurence Rageot, Flora Reverchon-Assadi, Amélie Robert, Guillaume Sarah, Lucette Toussaint, Arnaud Videcoq, Adeline Vioux

Éditorial

L'été s'installe et les premiers départs en vacances s'annoncent. La pause estivale est la bienvenue pour tous. Les six premiers mois de l'année ont été denses pour toutes et tous. Et la rentrée ne s'annonce pas moins chargée : notre établissement prépare la mise en place du télétravail dès septembre pour un déploiement en janvier 2019, les demandes de moyens Dialogue sont à formaliser pour le 13 septembre, . . .

Et le rôle de Microscoop dans tout cela ? Apporter un peu de (sérieuse) distraction...

Je vous propose d'y consacrer quelques minutes pour, une fois encore, voir, revoir ou savoir ce qui se passe dans les laboratoires de la circonscription. D'autant que ce Microscoop de l'été est une invitation à la découverte!

Découverte des peupleraies et des controverses qui pèsent sur leur avenir. Au-delà de la question des peupleuraies, vous découvrirez que c'est l'ensemble des plantations forestières à croissance rapide qui sont touchées par ces lourds débats.

Découverte d'une nouvelle molécule chimique aux propriétés anti-douleur et par là même, description des mécanismes neurologiques complexes de la douleur, dans lesquels des chercheurs s'investissent afin d'isoler certains mécanismes clefs dans le but d'initier de meilleures thérapies.

Découverte de l'implication des mathématiques dans le traitement des images IRM, des nécessaires simulations numériques dans le processus d'élaboration de pièces céramiques, des dispositifs électroniques permettant une consommation énergétique réduite de nos futurs systèmes de télécommunication 5G.

Découverte de la nouvelle pile à combustible régénérative, associant deux technologies déjà bien connues : les piles à combustible et l'électrolyse de l'eau, afin de trouver des solutions aux besoins futurs en énergie.

Et enfin découverte de plusieurs thématiques en sciences humaines et sociales qui nous font voyager à travers le temps et l'espace : comment la production ou l'observation d'une action influence la compréhension des verbes d'actions ou au contraire comment la présentation de verbes d'action peut modifier la manière dont nous percevons et interprétons les mouvements des autres ? Comment le logiciel VisualGraphs permet de mettre en lumière de façon graphique certaines bases de données ? Comment a évolué la prise en compte des violences corporelles faites aux femmes à travers l'Histoire ?

Je vous invite avec toujours autant de plaisir à une agréable lecture. Je vous souhaite de très bonnes vacances à toutes et tous.

Marion Blin Déléguée régionale par intérim



2 - microscoop - juillet 2018 microscoop - juillet 2018 microscoop - juillet 2018

Les peupleraies en débat

De lourdes tensions pèsent sur les branches du peuplier. Admiré ou banni, il ne laisse pas indifférent au point qu'il faille en connaître toutes les particularités pour en comprendre la place actuelle dans les campagnes.

Depuis une vingtaine d'années, on assiste à un recul des peupleraies. Ce n'est pas sans poser de problème à la filière bois-forêt, désormais confrontée à une pénurie en bois de peuplier. Alors même que la demande progresse, les industriels sont obligés de s'approvisionner à l'étranger. Les raisons de ce recul des surfaces sont diverses : attaques par des ravageurs (pucerons...), tempêtes, diminution des aides aux reboisements mais aussi critiques portées contre les peupleraies. En effet, peuplées d'arbres alignés identiques, à croissance rapide, les peupleraies sont parmi les forêts plantées les plus critiquées en France. Elles sont considérées comme des écosystèmes artificiels, dénaturant les paysages et nuisant à la biodiversité. Mais cet avis n'est pas unanime : les peupleraies sont au centre de débats.

UNE TRADITION PERDUE

Les critiques à l'égard du peuplier sont récentes. Pourtant, cet arbre est présent dans les campagnes françaises depuis plusieurs siècles. Il appartient à la culture : une tradition existait ainsi chez les agriculteurs de planter des peupliers pour pouvoir payer la dote. Plus encore, les peupleraies pouvaient être appréciées pour leurs qualités esthétiques. Mais, à partir des années 1990, portées par des préoccupations environnementales et paysagères, des oppositions se sont manifestées. Des communes ont même pris position contre les peupleraies. Tel est le cas de Bréhémont, en Indre-et-Loire, où l'inscription de la vallée de la Loire sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco a pu jouer en la défaveur de ces forêts jugées artificielles. La commune a ainsi mis en place un Plan local d'Urbanisme visant à en contraindre la présence. Mais même en mobilisant les « Aires de mise en valeur de l'architecture et du patrimoine », les municipalités se heurtent à d'autres réglementations : les propriétaires ont l'obligation de replanter, notamment s'ils s'y sont engagés fiscalement.

Toutes les communes ne sont pas opposées à ces forêts plantées. A l'inverse, certaines sont même propriétaires de peupleraies, comme la voisine de Bréhémont, Rivarennes.

Les arguments avancés sont d'abord paysagers et environnementaux. Les uns soutiennent le caractère esthétique de ces arbres alignés, quand les autres critiquent le fait qu'ils forment des forêts artificielles. Plus encore, certains leur contestent le statut de forêts, considérant qu'il s'agit plutôt de cultures.

DÉFENSEURS CONTRE DÉTRACTEURS

On reproche aussi aux peupleraies de fermer les horizons. Le point de vue émane notamment de la Mission Val de Loire, œuvrant en faveur de la préservation et de la valorisation de la partie de la Loire inscrite sur la liste de l'Unesco. Cette structure privilégie les ouvertures paysagères, en vue de mettre en valeur le patrimoine bâti. La critique concerne toutefois plus largement les forêts, non spécifiquement les peupleraies. Elle s'oppose à un autre élément mis en avant par d'autres détracteurs, les défenseurs de la biodiversité. Eux aussi voient d'un mauvais œil les plantations de clones alignés, les considérant « contre nature » mais, à choisir, ils privilégient celles au sous-bois plus dense. Or il bloque la vue de l'observateur et les paysagistes y voient une fermeture paysagère. Eux préfèrent une peupleraie au sous-bois régulièrement défriché. Le foisonnement de la végétation en sous-étage peut être vu comme un manque d'entretien, l'indice d'une parcelle laissée à l'abandon, ce qui participerait à l'image négative des peupleraies. On retrouve, derrière cela, l'idée d'une nature qui devrait être « propre » et entretenue, présente parfois au sein de la société.

On voit là qu'il n'y a pas une simple opposition entre défenseurs et détracteurs : la situation est plus complexe. Les « contre » souligneront





Une peupleraie à la végétation rase en sous-étage : une plus grande ouverture paysagère mais une plus faible biodiversité associée - La Chapelle sur Loire, Indre et Loire.

aussi que les peupliers plantés représentent une menace de pollution génétique pour les peupliers naturels (les peupliers noirs). Les « pour » avanceront un autre argument environnemental : les plantations contribuent à la séquestration et au stockage du carbone et participent ainsi à la réduction des gaz à effet de serre, donc à lutter contre le changement climatique.

" ... considérer les paysages, leurs dynamiques ... les usages et pratiques..."

UN INTERÊT ÉCONOMIQUE

Les avantages des peupleraies sont aussi économiques. On estime qu'elles fournissent 24,7 % des troncs de feuillus récoltés, alors qu'elles ne représentent que 2 % des peuplements feuillus (210 000 ha). Rapportées aux surfaces populicoles européennes (940 200 ha), elles n'apparaissent pas si négligeables à l'échelle du territoire métropolitain. La France est ainsi le premier producteur européen de bois de peuplier, le deuxième à l'échelle mondiale (derrière la Chine). Le bois est utilisé pour la fabrication d'emballages légers (à hauteur de 45 %), de contreplaqué ou pour la construction. Les industriels mettent en avant l'argument du circuit court, soulignant que la pénurie, liée au recul des surfaces plantées, les contraint à importer du bois. Pour les acteurs de la filière, l'image négative des peupleraies concourt à ce recul. Elle pourrait s'expliquer par des plantations non réfléchies, réalisées sur des terrains inadaptés, par l'absence d'entretiens de certaines parcelles, par les coupes à blanc qui entraînent une modification brutale des paysages.

AGRICULTURE OU BIODIVERSITÉ

Le non-renouvellement des plantations peut aussi être dû à des expériences dommageables connues par les propriétaires (coups de vent répétés dévastant les peupliers par exemple), à leur absence de compétences en sylviculture, d'autant qu'ils sont de moins en moins agriculteurs, de plus en plus citadins : il est alors plus simple de louer la parcelle à un agriculteur, plutôt que d'y planter des peupliers. Ce n'est pourtant



Un sous-bois dense, lieu d'une plus grande biodiversité mais bloquant la vue de l'observateur - Saché, Indre et Loire.

pas possible pour toutes les parcelles. Dans le cas de l'abandon de la populiculture, la solution de remplacement n'est pas si évidente, de sorte que les détracteurs ont quelque peu modéré leur position. Ceci amène à évoquer un dernier argument avancé par l'un des camps comme par l'autre, en lien avec l'occupation des sols concurrente. Les défenseurs auront tendance à comparer les peupleraies aux parcelles agricoles, plus consommatrices d'intrants chimiques. Les détracteurs les mettront plutôt en perspective avec des formations végétales spontanées, plus riches en biodiversité.

Face à la pénurie à laquelle sont confrontés les industriels, les solutions sont a priori à rechercher dans une meilleure répartition spatiale des peupleraies et dans une gestion adaptée aux problématiques locales. Au regard de la diversité des arguments avancés, l'étude doit nécessairement être interdisciplinaire (relevant autant des sciences humaines et sociales que des sciences de la vie et de la terre : géographie, sociologie, aménagement, droit, écologie, pédologie) et suppose d'aller au-delà, en questionnant plus largement les représentations de la nature. Il s'agit de considérer les paysages, leurs dynamiques, mais aussi les usages et pratiques qui y sont liées ainsi que les politiques qui les guident ou sont susceptibles d'être utilisées par les uns ou par les autres, pour ou contre les peupleraies.

Au-delà, la question des peupleraies est aussi plus globalement celle des plantations forestières à croissance rapide qui apparaissent tout autant objets de controverses à l'échelle mondiale.

Amélie ROBERT < CITERES amelie.robert@univ-tours.fr http://citeres.univ-tours.fr/

Verbes et gestes

Si la compréhension des mots a longtemps été considérée comme étant une fonction indépendante de l'expérience motrice, depuis les années 2000 de nombreuses études soutiennent que le système moteur interviendrait pour comprendre des mots et en particulier des verbes d'action.

Dans le cerveau les mêmes structures s'activent lorsqu'on entend des verbes d'action et lorsque l'on observe ou l'on produit un mouvement, suggérant un lien entre l'action et le langage. Par exemple, le réseau cérébral qui s'active lorsque l'on réalise ou que l'on observe un mouvement d'écriture est le même que lorsque l'on entend le verbe « écrire ». Au Centre de recherches sur la Cognition et l'Apprentissage (CeRCA – UMR 7295 CNRS/Université de Poitiers/Université de Tours), plusieurs chercheurs s'intéressent à ces liens action-langage. Ils étudient comment la production ou l'observation d'une action influence la compréhension des verbes d'actions ou au contraire comment la présentation de verbes d'action peut modifier la manière dont nous percevons et interprétons les mouvements des autres.

EFFET DE L'ACTION SUR LE LANGAGE

Le CeRCA s'intéresse par exemple aux effets de l'expérience sensori-motrice sur le traitement des verbes d'action. Pour tester cet effet, les chercheurs en psychologie cognitive utilisent le paradigme d'immobilisation d'un membre sain développé dans le laboratoire*.

Cette procédure consiste à immobiliser le bras et la main d'une personne à l'aide d'une attelle rigide afin de l'empêcher de bouger durant une période donnée, égale en général à 24H. L'objectif était de savoir si une privation d'exercice de courte durée pouvait influencer la compréhension d'un verbe d'action. Dans cette expérience des adultes voyaient sur un écran d'ordinateur un verbe d'action et ils devaient le plus rapidement possible indiquer dans un microphone si ce verbe impliquait plutôt les mains (« écrire ») ou les jambes (sauter). Cette tâche s'effectuait deux fois à 24H d'intervalle. La première fois, aucun des participants n'avait subi de privation d'exercice. A la suite ce premier test, une attelle a été posée sur le bras dominant de la moitié des participants (groupe immobilisé), ainsi qu'un gilet d'immobilisation. Ce dispositif empêchait tout mouvement du bras et de la main. Les autres participants ne subissaient aucune privation d'exercice (groupe contrôle). A la fin des 24H, tous les participants étaient de nouveau évalués sur la tâche de compréhension des verbes d'action.

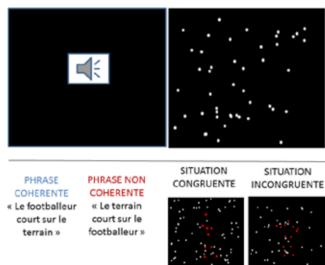
" ... améliorer de manière significative la récupération fonctionnelle de patients..."

Le laboratoire a mis en évidence des temps de réponse plus rapides en session 2 qu'en session 1 pour les verbes en lien avec les mains (« écrire ») et les verbes en lien avec les pieds (« sauter ») chez les sujets du groupe contrôle. Au contraire, l'amélioration des temps de réponse observée chez les personnes ayant subi une immobilisation du bras et de la main ne se retrouvaient que pour les verbes en lien avec les pieds. Ces résultats suggèrent donc qu'une privation d'exercice de seulement 24H impacte directement la capacité des adultes à comprendre des verbes d'action en lien avec la partie « immobilisée ». L'expérience sensori-motrice jouerait donc un rôle primordial dans le traitement des verbes d'action. Ce premier résultat questionne évidemment la consé-

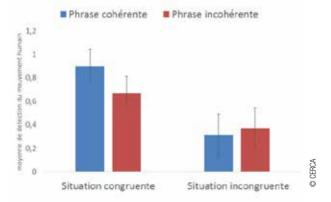
quence d'une privation d'exercice plus importante en lien par exemple avec la pose d'un plâtre entraînant l'immobilisation d'un membre durant plusieurs semaines. Actuellement, des chercheurs du CeRCA travaillent sur des techniques permettant de réduire les effets de la privation d'exercice sur la compréhension du langage.

EFFET DU LANGAGE SUR L'ACTION

En parallèle, depuis plusieurs années, le CeRCA étudie comment le traitement d'un verbe d'action impacte les capacités perceptives des individus. Ainsi, des chercheurs ont pu montrer que l'écoute d'un verbe d'action influence les capacités perceptives comme par exemple les capacités de reconnaissance d'un être humain représenté sous la forme de séquences de points. Dans cette expérience, on a fait écouter à des participants adultes un verbe d'action puis on leur a demandé de juger si une vidéo contenant un ensemble de points en mouvements incluait ou non un mouvement humain (tâche de détection d'un mouvement humain imbriqué dans un masque).



Procédure utilisée dans la tâche langage-action. Durant la tâche l'ensemble des points étaient blancs et présentés en mouvement. Les phrases étaient présentées oralement.



Résultats obtenus dans la tâche langage-action. Les barres d'erreurs représentent les erreurs standards dans les différentes conditions.



La détection de mouvements humains : écouter un verbe d'action et juger si une séquence animée de points contient un mouvement humain.

La mesure des temps de réaction a mis en évidence que lorsqu'une action humaine était présente, celle-ci était beaucoup plus rapidement vue lorsqu'elle était congruente (765 ms en moyenne) avec le verbe présenté en amorce plutôt qu'incongruente (808 ms en moyenne) ou neutre (820 ms en moyenne). Ainsi, l'action de courir était plus rapidement détectée lorsque le stimulus était précédé du verbe « courir » (situation congruente) plutôt que du verbe « lancer » (situation incongruente) ou du verbe « penser » (situation neutre).

Cependant, de manière intéressante, si ce lien langage-action est très important, il n'est pas présent de manière automatique et dépendrait du contexte dans lequel le verbe d'action a été présenté. Ainsi, si le verbe d'action présenté en amorce est contenu dans une phrase incohérente (« le terrain court sur le footballeur ») plutôt que dans une phrase cohérente (« le footballeur court sur le terrain), le traitement d'un verbe d'action n'aurait pas (ou moins) d'effet sur la détection visuelle d'une action congruente Ainsi, les caractéristiques de présentation du verbe d'action auraient une influence directe sur le lien action-langage. Ces travaux se poursuivent actuellement dans le cadre d'un doctorat pour déterminer quelles caractéristiques de l'action influencent l'existence et/ou la force du lien action-langage.

UN LIEN ACTION-LANGAGE, OUI MAIS POUR QUOI FAIRE?

Si la majorité des travaux menés au CeRCA s'est pour l'instant focalisée sur la compréhension des mécanismes reliant action et langage, dans le futur le laboratoire envisage d'orienter ses recherches sur l'impact fonctionnel de ce lien action-langage en rééducation ou en apprentissage. Dans la littérature plusieurs études ont déià révélé le rôle béné-

fique de l'observation d'action dans la rééducation de patients souffrant de troubles du langage. L'objectif du CeRCA sera quant à lui d'établir que, réciproquement, la présentation de verbes d'action peut être bénéfique à la rééducation de patients souffrant de troubles moteurs.

Une étude pilote semble aller dans ce sens en montrant que le traitement de verbes d'action en association avec une thérapie rééducation classique pourrait améliorer de manière significative la récupération fonctionnelle de patients souffrant de troubles orthopédiques du genou par rapport à l'application de la rééducation classique seule ou associée au traitement de noms concrets. Si ces premiers résultats doivent encore être confirmés, ils permettront sans doute dans l'avenir de renforcer l'efficacité de la prise en charge des patients avec troubles moteurs.

Sophie-Anne BEAUPREZ < CeRCA sophie.anne.beauprez@univ-poitiers.fr

Lucette TOUSSAINT < CeRCA lucette.toussaint@univ-poitiers.fr

Christel BIDET-ILDEI < CeRCA christel.bidet@univ-poitiers.fr

http://cerca.labo.univ-poitiers.fr

^{*} Équipe Exercice, Sensorimotricité, Cognition du laboratoire

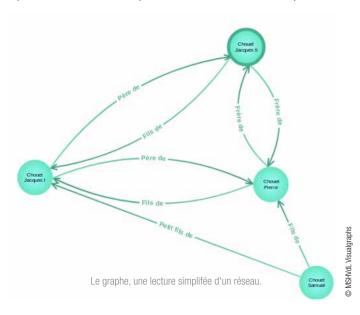
VisualGraphs : un moyen original d'afficher des données

La Maison des Sciences de l'Homme Val de Loire a créé un logiciel de visualisation de données qu'elle met à disposition de ses équipes de recherche en sciences humaines. Chercheurs en littérature, historiens et numismates l'ont déjà éprouvé avec succès.

Lorsque les informations contenues dans une base de données présentent des liens temporels ou de relations entre elles, le logiciel VisualGraphs permet de les afficher sous forme graphique, avec des nœuds qui symbolisent les données et des liens qui les relient. Ce type d'affichage met ainsi en évidence les éléments liés et exploite pleinement l'intégralité des données. Avec ce mode d'affichage plus graphique, il est possible de découvrir une nouvelle lecture des données ainsi valorisées et mises en relation entre elles.

DU SUR-MESURE

VisualGraphs a été développé dans le cadre de la mission d'accompagnement des chercheurs de la MSH Val de Loire (USR 3501 - Université de Tours / Université d'Orléans / CNRS) dans les aspects numériques de leurs projets. À l'inverse des logiciels de visualisation existants, sa simplicité d'utilisation et une préparation de données facilitée répondent aux besoins spécifiques des bases de données peu volumineuses et ayant un nombre de relations restreint. L'affichage sous la forme de graphes est une manière différente d'afficher des données. Certaines informations, bien qu'elles soient existantes et visibles dans une base de données, prennent de l'importance une fois reliées entre elles. Ainsi le graphe pourra mettre en évidence un nœud particulièrement isolé ou au contraire un point de convergence important. Il pourra aussi permettre une lecture simple d'un réseau de relations complexes.



Le premier exemple concret d'application s'est porté sur la base de données du projet EDITEF* du CESR (UMR 7323 CNRS-Université de Tours). Cette base réunit des centaines de données sur l'édition des ouvrages en italien dans les régions francophones au nord des Alpes, patrimoine indispensable à l'essor de l'Humanisme et de la Renaissance dans l'Europe continentale au XX^e siècle. Elle regroupe des informations sur des personnes, des déplacements, des lieux, des

exemplaires et des collections d'ouvrages. La visualisation sous une forme de graphes a mis en évidence les relations familiales entre des personnes, leurs déplacements ou encore les propriétaires successifs d'un exemplaire d'un ouvrage. Plusieurs nœuds de relations ont ainsi été mis en évidence et ont permis aux chercheurs d'établir de nouvelles interprétations.

UN LOGICIEL ACCESSIBLE

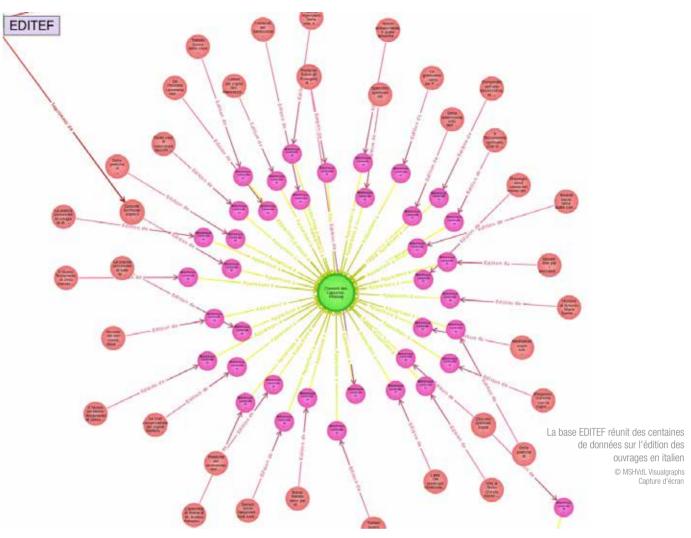
VisualGraphs, tel qu'il a été conçu par l'atelier numérique de la MSH, est un logiciel web. Il peut donc être mis en ligne et rendu accessible comme une page web classique ou utilisé en local sur les systèmes Windows, Mac et Linux. Il a été développé sous la licence libre CeCILL. Le code du programme est disponible gratuitement sur SourceSup, la plateforme d'hébergement de projets informatiques de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et donc accessible à tous. Des compétences en informatique sont néanmoins nécessaires pour l'installation.

UNE RÉPONSE AUX PROBLÉMATIQUES DES CHERCHEURS

En 2018, la MSH Val de Loire finance le projet VisualCoins, porté par l'IRAMAT-Centre Ernest Babelon (UMR 5060 CNRS-Université d'Orléans) et mené en partenariat avec la Bibliothèque nationale de France. Ce projet vise spécifiquement à explorer les possibilités offertes par le logiciel VisualGraphs pour la représentation graphique des schémas de liaisons de coins, dans le but de contribuer aux études menées par les numismates (spécialistes des monnaies anciennes).

" ... mettre en lumière de façon graphique toutes les bases de données ... quelle que soit la discipline."

Une monnaie ancienne, d'un point de vue technique, est dans la plupart des cas un disque de métal frappé entre deux matrices appelées coins monétaires. Ces coins portent, gravés en miroir, les motifs et légendes qui confèrent à une masse de métal la garantie de l'autorité émettrice. Ils sont confectionnés à la main et chacun est par définition unique. Les coins sont rarement parvenus jusqu'à nous, mais nous les connaissons par les empreintes qu'ils ont laissées sur les monnaies. Un examen attentif des monnaies anciennes permet d'identifier des « liaisons de coins ». Par cette expression, les numismates désignent le fait de déterminer si deux monnaies ont été frappées par un même coin pour l'une de leurs faces (appelées respectivement « droit » et « revers ») ou pour les deux. Les chercheurs peuvent ainsi, sur la base de ces observations, mieux comprendre des politiques monétaires pour lesquelles aucune documentation textuelle n'est disponible. Par des calculs statistiques, il est possible d'évaluer le nombre de coins employés pour la fabrication d'une série monétaire, voire d'estimer le nombre de monnaies produites. Ces données peuvent ensuite être insérées dans des réflexions historiques plus larges sur la production monétaire et l'économie dans les sociétés anciennes.



L'étude des liaisons de coins est un travail long et patient qui constitue la première étape incontournable de la quantification des productions monétaires anciennes. La représentation des données recueillies avec des symboles identifiant les coins de droit et les coins de revers, reliés entre eux par des traits, tend à s'imposer comme la forme graphique privilégiée. Cependant, pour des ensembles de plusieurs centaines voire plusieurs milliers de monnaies, produire de tels schémas en représentant un à un les coins de droit et de revers et les liaisons qui ont été relevées devient très complexe voire impossible. VisualCoins a pour objectif d'appliquer le logiciel VisualGraphs à cette problématique : par une mise en œuvre simple, le logiciel génère des schémas de liaisons de coins de manière instantanée, épargnant ainsi aux chercheurs un travail long et fastidieux. Les premiers essais réalisés ont confirmé la bonne adéquation entre cet outil logiciel et les problématiques des historiens de la monnaie. Le développement de son utilisation permettra de systématiser ce type de représentation pour étudier plus facilement les conditions de production des monnaies anciennes et l'organisation des ateliers monétaires.

Après la littérature, l'histoire et la numismatique, VisualGraphs est destiné à mettre en lumière de façon graphique toutes les bases de données peu volumineuses, quelle que soit la discipline. La MSH Val de Loire accompagnera de son côté tous les projets en sciences humaines

et sociales de ses équipes fédérées. Aucune nouvelle fonctionnalité n'est prévue pour le moment mais le caractère modifiable du logiciel permettra à tout développeur de le faire évoluer en apportant des améliorations au code informatique, toujours sous licence libre.

Laurence RAGEOT < MSH Val de Loire laurence.rageot@univ-tours.fr Guillaume SARAH < IRAMAT-Centre Ernest Babelon guillaume.sarah@cnrs-orleans.fr www.msh-vdl.fr https://sourcesup.renater.fr/projects/visualgraphs/

* L'Edition Italienne dans l'Espace Francophone à la première modernité

La douleur mise à mal

D'un petit orteil contre le pied de la table à une main sur une poêle brulante, chacun d'entre nous a déjà rencontré cette sensation désagréable qu'est la douleur. Mais après tout, que savons-nous réellement sur ce processus commun à tous ?



Les chercheurs du Centre de Biophysique Moléculaire (UPR 4301) investissent les mécanismes neurologiques complexes de la douleur et tentent de les mettre « à mal » par l'utilisation de molécules visant de nouvelles cibles.

Présente à travers les époques, la représentation de la douleur évolue et se précise. Ainsi, elle est restreinte à une forme singulière de l'émotion par Aristote, alors que Descartes la transforme en phénomène strictement mécanique. Le concept moderne s'efforce de considérer la douleur dans toute sa complexité afin de conserver la dichotomie entre l'organique et le psychologique.

"... neurotransmetteurs ...candidats de choix pour l'étude des mécanismes anti-douleur."

La recherche en neurobiologie s'évertue à comprendre les mécanismes neurophysiologiques qui recueillent, transmettent et modulent l'information de douleur. L'ensemble de ces mécanismes constitue la nociception. Ce système neurobiologique est à l'origine de deux catégories de douleur, en fonction de leur durée. Ainsi, on peut distinguer

la douleur aiguë qui, intense et brève, constitue un signal d'alerte nous permettant de réagir et de nous protéger face à un stimulus thermique, mécanique ou chimique. La douleur chronique quant à elle, excédant trois mois, présente un rôle d'alarme qui n'est plus justifié et qui peut devenir pathologique.

La douleur n'est donc pas simplement un signal mais une combinaison d'énigmes pour laquelle les chercheurs du CBM s'investissent afin d'isoler certains mécanismes clefs dans le but d'initier de meilleure thérapie.

LE CHEMIN DE LA DOULEUR

Il est tout à fait possible de décrire le parcours de l'information douloureuse car notre petit orteil est lié à notre cerveau! Tout commence avec un stimulus, dans notre cas le choc contre le pied de table, qui active des terminaisons nerveuses présentent à la surface de notre peau, les nocicepteurs périphériques. Le message de douleur, généré sous la forme d'une activité électrique appelée influx nerveux, est alors véhiculé le long des nerfs nocicepteurs pour atteindre la moelle épinière et être transmis au cerveau.

Un nerf est le regroupement de multiples neurones également appelés neurones sensitifs. C'est au cœur de notre cerveau, une zone appelée

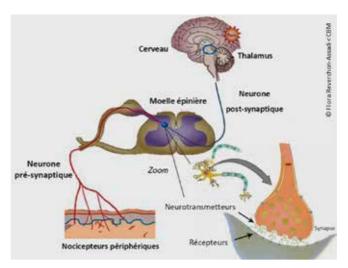


Schéma du parcours complexe de l'information douloureuse, de l'activation des nocicepteurs périphériques à l'intégration au sein du Thalamus, en passant par une étape de modulation dans la moelle épinière.

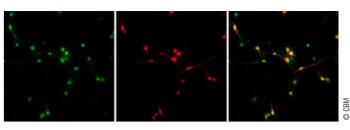
Thalamus, que le signal est alors reconnu comme une douleur et que nous la percevons, aïe !

À l'image des mécanismes neurophysiologiques qui sont en mouvement perpétuel, l'information douloureuse peut être modifiée lors de son passage dans la moelle épinière. Cette dernière constitue un passage clef dans le chemin de la douleur car les neurones y sont soumis à des substances médiatrices positives mais également inhibitrices, pouvant ainsi intensifier ou limiter la douleur. Le pouvoir inhibiteur de certaines substances, également appelées neuromédiateurs ou neurotransmetteurs, en fait des candidats de choix pour l'étude des mécanismes anti-douleur.

LE NEUROTRANSMETTEUR DU BIEN-ÊTRE, LA SÉROTONINE

Très souvent associée à notre bonne humeur et à notre sommeil, la sérotonine est un neurotransmetteur clef dans la communication entre deux neurones, tel un messager entre un neurone pré-synaptique et un neurone post-synaptique. Les rôles biologiques de cette sérotonine sont multiples et dépendent des récepteurs sur lesquels elle agit, de leur localisation mais également de l'environnement neurochimique. Ses récepteurs sont classés en sept types, du récepteur 5-HT, au récepteur 5-HT, et sont tous liés aux protéines G membranaires excepté le récepteur 5-HT,.

Depuis plus de 50 ans, la sérotonine intéresse énormément les neuroscientifiques car elle joue un rôle important sur le chemin de la douleur. Lors d'une brûlure par exemple, la sérotonine très rapidement libérée au niveau de la peau, initie la production d'une activité électrique neuronale, permettant ainsi la naissance du message douloureux. C'est dans un second temps, au niveau de la moelle épinière, que la sérotonine exerce son rôle de neuromédiateur. Ainsi, des études antérieures ont montré que l'action de la sérotonine à travers son récepteur 5-HT₁ favorise une diminution de l'information douloureuse alors qu'elle présente un effet excitateur via le récepteur 5-HT₂. Compte tenu de la complexité des mécanismes mis en jeu et de la nécessité de les comprendre, afin de parvenir à la mise en place de traitements adaptés, l'équipe de recherche du CBM s'intéresse plus particulièrement au rôle du dernier récepteur décrit de la sérotonine, le récepteur 5-HT₂.



Photographies d'une expérience d'immunocytochimie sur des cultures de neurones de souris démontrant l'expression du récepteur d'intérêt 5-HT₇ à la surface des neurones. En vert, le récepteur 5-HT₇ révélé par des anticorps spécifiques. En rouge, le cytosquelette des neurones. En jaune, la co-localisation du récepteur 5-HT₇ et des neurones.

UN NOUVEL ESPOIR CONTRE LA DOULEUR

C'est au cœur d'un projet pluridisciplinaire, que les chercheurs du CBM progressent sur la caractérisation des propriétés anti-douleur d'une nouvelle molécule chimique. Cette molécule, synthétisée par une équipe de l'ICOA (UMR 7311 CNRS/Université d'Orléans), mime le comportement de la sérotonine spécifiquement sur son récepteur 5-HT₇. Afin d'étudier ses effets sur la douleur, dans toute sa complexité, le CBM s'associe aux chercheurs de l'INEM (UMR 7355 CNRS/Université d'Orléans), pour la mise en place de tests comportementaux chez la souris. À la suite d'une administration périphérique chez des modèles de souris, cette nouvelle molécule, ciblant le récepteur 5-HT₇, semble détenir des fonctions anti-douleur puissantes mais dénuées des effets indésirables, retrouvés avec la molécule référente classiquement utilisée en expérimentation. L'analyse « *ex vivo* » de la moelle épinière des animaux traités, permet aux chercheurs d'identifier et de comprendre le rôle répresseur de cette nouvelle molécule dans le parcours de la douleur.

Afin de pouvoir affiner leurs hypothèses et mettre en évidence des mécanismes neuronaux spécifiques, induits par cette nouvelle molécule, les chercheurs travaillent également sur des cellules neuronales de souris mises en culture. Cette approche « *in vitro* » de neurones isolés des autres types cellulaires, permet de tester l'effet de la molécule cible spécifiquement sur le récepteur 5-HT, des neurones, afin d'identifier les conséquences moléculaires et cellulaires qui en résultent. Les chercheurs envisagent de combiner les résultats de ces différentes approches, à l'échelle d'un organisme entier, d'un organe et d'une cellule, afin d'isoler le(s) mécanisme(s) engendré(s) par cette nouvelle molécule aux propriétés anti-douleur prometteuses.

Ce travail, à l'initiative d'une étroite collaboration entre plusieurs disciplines, la chimie, la pharmacologie moléculaire et les neurosciences, élargit le champ des possibles et repousse les barrières de la compréhension des mécanismes de douleur et anti-douleur, encore peu déchiffrés. Ces premiers résultats très encourageants appellent à de nouvelles questions, une application à l'homme est-elle envisageable? Les chercheurs du CBM poursuivent leurs travaux dans l'espoir de pouvoir y répondre.

Flora REVERCHON-ASSADI < CBM flora.reverchon@cnrs-orleans.fr

Séverine MORISSET-LOPEZ < CBM severine.morisset-lopez@cnrs-orleans.fr

http://cbm.cnrs-orleans.fr/

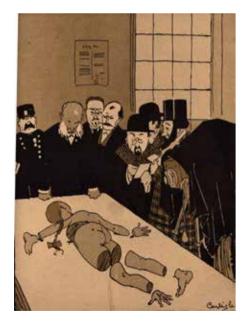
10 - microscoop - juillet 2018 microscoop - juillet 2018

Le corps maltraité des femmes sous l'œil des experts

La médecine légale n'est pas née au XIXe siècle, mais François-Emmanuel Fodéré est considéré comme son véritable promoteur. En 1813, il publiait un *Traité de médecine légale et d'hygiène publique ou de police de santé, adapté aux codes de l'Empire français, et aux connaissances actuelles.* Si la médecine légale possèdait désormais sa cathédrale scientifique, elle n'y accordait qu'une place très modeste aux corps brutalisés des femmes.

LES EXPERTS CONTRE LES FEMMES ?

Les violences sexuelles sont l'objet au XIXe siècle d'une grande attention jamais recensée auparavant. La statistique judiciaire, il est vrai, enregistre depuis 1826, le nombre des délits et des crimes commis dans chaque département. Au début, les chiffres restent globaux. Ils s'adressent aux spécialistes, aux journalistes ou aux simples curieux. Puis, progressivement, la société toute entière découvre que les violences sexuelles -les attentats aux mœurs et les viols-, ne cessent d'augmenter. Pour autant, les médecins légistes du début du XIXe siècle comme ceux qui exercent à la veille de la Seconde Guerre mondiale considèrent qu'une femme adulte ne peut être violée si elle ne le veut pas. Tout ce qui relève de la surprise, de la sidération, de la domination est écarté. Pour reconnaître les violences sexuelles, il faut que le médecin légiste puisse trouver des stigmates sur le corps des plaignantes. S'il ne discerne pas d'ecchymoses significatives, de blessures manifestes ou de membres fracturés, même quand le corps est examiné plusieurs jours après les faits, il considère qu'il y a eu consentement. Ce point de vue est largement partagé dans les traités de médecine légale en 1840, en 1892 ou en 1934, comme lors des enquêtes judicaires ou des procès. Aussi, jusqu'en 1940, tout se passe comme si les spécialistes du corps, du moins en matière de violences sexuelles, ne voulaient ni reconnaître le viol ni même les agressions sexuelles.



L'Assiette au Beurre, n° 310, 23 mars 1907, Carlègle, Soleillant's. Le corps d'une fillette scruté par les journalistes et les photographes.

LES VIOLENCES EXTRÊMES RÉVÉLÉES GRÂCE À LA PRESSE

A partir du Second Empire, la presse à grand tirage fait la conquête progressive de l'opinion publique. En 1863, est lancée Le Petit journal qui atteindra à la fin du XIXe siècle le million de lecteurs. Les tribunaliers, c'est-à-dire, les journalistes qui suivent les procès, donnent, surtout à

partir des années 1880, nombre d'informations sur les expertises médico-légales. Le plus connu de ces chroniqueurs est Albert Bataille.

Lors de l'affaire Pranzini, en 1887, il restitue la déposition de Paul Brouardel, le médecin légiste le plus célèbre de son époque, qui fut le directeur de la morgue parisienne, professeur de médecine légale et doyen de la Faculté de médecine de Paris.

Appelé comme expert à la barre, il restitue pour le jury son enquête. Trois femmes ont été violemment tuées à l'arme blanche dans un quartier élégant de la capitale. Jamais, déclare-t-il dans une langue accessible à tous et toutes, il n'a vu un tel crime. Les têtes des trois victimes avaient été pratiquement détachées du tronc.

L'affaire est importante pour au moins trois raisons : l'intensité de la violence est évoquée -les photos prises à la morgue seront publiés dans plusieurs périodiques-, la déclaration du médecin légiste constitue une vérité incontestable, elle réactive d'autres crimes plus anciens commis contre des femmes. De la sorte, sans le théoriser, des médecins insistent sur le fait que le corps des femmes n'est pas maltraité de la même façon que celui des hommes.

"Pour ébranler l'opinion publique, il faut qu'un crime se transforme en fait divers..."

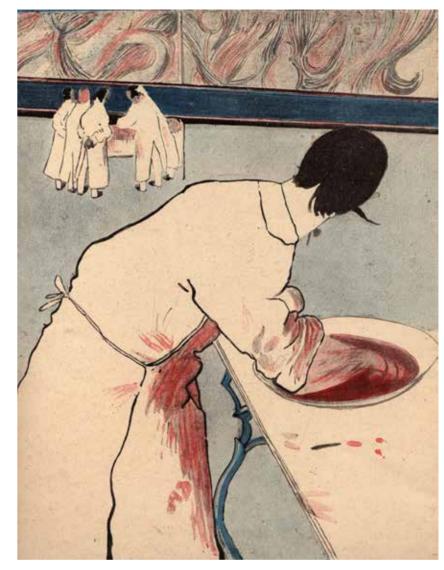
En 1896, l'affaire Vacher, le tueur de bergères devient le prétexte pour forger une nouvelle catégorie criminelle : celle du crime sadique, définit à la fois par Alexandre Lacassagne, le grand maître de la médecine légale lyonnaise et directeur des Archives d'Anthropologie criminelles et Thoinot, le successeur de Paul Brouardel. Par la suite, le journal Détective, née en 1928, sous la houlette des frères Kessel et de Gaston Gallimard, n'hésite pas à publier des photos. Le docteur Paul, surnommé l'homme qui parle avec les morts, véritable vedette, est régulièrement mentionné

Sur toute cette période de plus de 50 ans, la répétition de ces événements tragiques, repris par les journaux, va dévoiler à une partie de l'opinion publique qu'il existe bien des violences spécifiques commises jusqu'à la mort contre des femmes.

VIOLENCES CORPORELLES : UNE DÉCOUVERTE

Les violences commises contre des fillettes et contre des épouses s'invitent progressivement sur la scène publique. La Gazette des tribunaux, périodique judiciaire né en 1825, avait mentionné très tôt l'existence d'agressions commises contre des gamines. La monomanie homicide fut évoquée et les principales victimes sont bien des petites filles : l'une porta autour du cou les marques de la strangulation, une autre eut le cœur arraché, une troisième fut décapitée.

Crimes exceptionnels, ils sont l'œuvre de « fous » déclarent la plupart



L'Assiette au Beurre, n° 108, 25 avril 1903, Paul Iribe. L'expert "dandy" après l'autopsie judiciaire du cadavre d'une femme tuée par son mari.

des observateurs. Mais le corps enfantin est bien l'objet de violences régulières. Les experts les examinant l'attestaient mais leurs rapports restaient souvent confidentiels. Pour ébranler l'opinion publique, il faut qu'un crime se transforme en fait divers et devienne une « belle affaire ». C'est ce qui se produisit pour Menesclou retrouvé avec l'avant-bras d'une fillette dans sa poche. Le médecin légiste compte et étiquette 43 pièces anatomiques, mais l'émotion ne durera pas. En revanche, en 1907, le trépas de la petite Marthe Erbelding inaugure une nouvelle variété de crime : le meurtre-viol d'une enfant. Le médecin légiste diligenté restitue la chronologie : la victime a d'abord été étourdie jusqu'à perde connaissance, puis violée, puis enfin étranglée afin qu'elle ne puisse pas dénoncer son agresseur, son cadavre abandonné dans une gare

L'expert est donc celui qui peut, à partir des traces et des marques faites sur le corps enfantin, les déchiffrer et dire ce qui s'est passé. La victime de sexe féminin est morte à cause de « l'appétit génésique » d'un prédateur, mais ce n'est que plus tardivement, au cours de l'entredeux-guerres, que l'on parlera de pédophilie.

Les corps maltraités des épouses, les coups reçus, les blessures faites sont constatés par les médecins-légistes. La brutalité masculine ne fait

pas de doute, mais la société considère, malgré le constat, que frapper sa femme n'est pas inconvenant. L'autorité du mari, s'exerçant sur la conduite et le corps de sa femme, à condition ne pas dépasser un certain seuil, fait partie des mœurs. Toutefois, sur la base des expertises médicales, des présidents d'assises dénoncent à partir des années 1880 les violences commises et parlent de surprises, lorsqu'elles interviennent au bout de quelques mois de mariage ou bien qu'elles s'exercent aussi contre les enfants du ménage.

La médecine légale est le reflet des imaginaires sociaux d'une époque. Si les techniques et les protocoles se sont affirmés, les descriptions corporelles affinées, les conclusions restent timorées. La tendance, dans les cabinets des juges d'instruction et dans les prétoires, est de minorer, voire d'ignorer, les violences faites aux femmes. Il faut pratiquement attendre les années 1960 pour que la société commence véritablement à les prendre en compte.

Frédéric CHAUVAUD < MSHS frederic.chauvaud@univ-poitiers.fr/ http://mshs.univ-poitiers.fr/

En tête à tête

Des millions de personnes passent chaque année des IRM, pour toutes sortes de pathologies. Cette technologie d'imagerie produit des quantités de données qui seraient totalement illisibles sans le traitement conçu par les mathématiciens.

Alors comment comprendre ce qui se passe à l'intérieur d'un corps ou d'un organe sans même effectuer de chirurgie ? Le principe de l'Imagerie par Résonance Magnétique réside dans l'idée que, excités par un champ magnétique, les atomes d'hydrogène présents dans le corps humain réagissent différemment. Ce sont ces réactions multiples qui permettent de définir la composition des tissus. Comment obtenir, traiter et interpréter ces données pour soigner un patient ? Les mathématiques pourraient être les héroïnes de demain en apportant ces réponses.

UN COCKTAIL DE DONNÉES

L'IRM est l'imagerie de référence pour l'étude des tissus mous et en particulier du cerveau. Avec des résolutions de plus en plus élevées, elle propose des données de qualité pour approcher les compositions tissulaires sans avoir à ouvrir la boite crânienne. Elle permet également de suivre le fonctionnement de zones cérébrales.

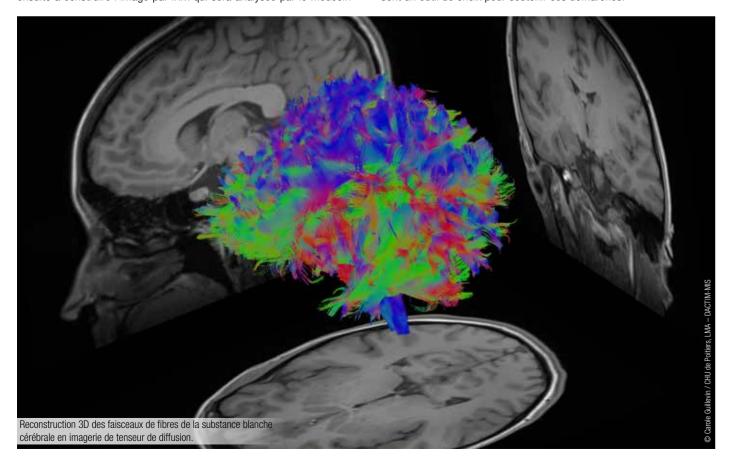
A la base de l'IRM, un ensemble de mécanismes physiques liés aux champs magnétiques fait vibrer des atomes précis, c'est la résonance. On recueille ensuite l'énergie dont chaque atome a besoin pour retourner à son état d'équilibre. L'ensemble de ces données forme le plan des fréquences k ou plan de Fourier. Grâce à une fonction mathématique connue impliquant les nombres complexes, ces données servent ensuite à construire l'image par IRM qui sera analysée par le médecin

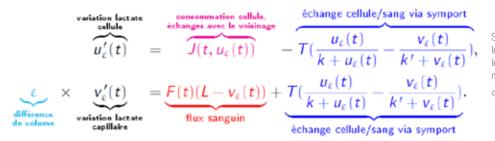
puis remise au patient.

Pour pouvoir comprendre mais aussi comparer des données, les images d'IRM doivent subir des opérations de traitement d'image. Dans un premier temps l'image peut subir un recalage soit un alignement de nouvelles données sur des données préexistantes utilisées comme référence. Il s'agit de positionner deux ensembles de données de manière à les rendre comparables et/ou à pouvoir suivre une évolution. Ce recalage nécessite des outils mathématiques tels que les bases de polynômes ou la définition d'un coefficient de corrélation.

Il est également nécessaire de savoir segmenter c'est-à-dire rassembler des pixels entre eux selon des critères prédéfinis. Cette étape sert à discerner les zones spécifiques d'une image donnée et à pouvoir détecter des éventuelles anomalies selon des critères médicaux. Mathématiquement, ces traitements se rapprochent de problèmes de minimisation d'une énergie formée par deux termes. Le premier terme correspond à la régularité de la frontière ainsi formée et le second à la variation de gris des deux côtés de la frontière. Souvent la technique consiste à chercher une courbe simple et une variation de gris importante entre les deux côtés de cette dernière pour discerner des tissus différents.

Le traitement d'image nécessaire pour rendre intelligibles les données issues de l'IRM ne s'arrête pas à ces deux étapes. Les mathématiques sont un outil de choix pour soutenir ces démarches.





Système de deux équations différentielles expliquant les échanges locaux en substrat entre une cellule et le sang. Chaque concentration évolue avec le temps, modulée par des interactions locales

© Angélique Perrillat-Mercerot / LMA – DACTIM-MIS

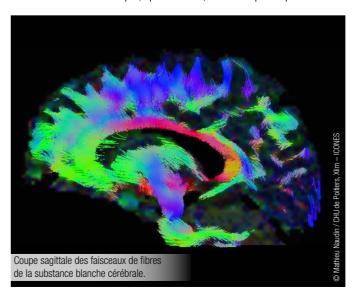
DES INFORMATIONS DÉCORTIQUÉES

Une fois les images traitées et les données fiables extraites, la modélisation mathématique est utile. Elle correspond à une traduction d'une ou plusieurs observations permettant de décrire ou de prédire. Un bon modèle est un modèle adapté au problème, économe, acceptable (donne des résultats cohérents) et efficace *a posteriori*. Deux principaux types de modélisations existent : la modélisation par des équations différentielles (égalités reliant des fonctions à leurs dérivées) et la modélisation statistique.

"... les meilleurs résultats sont ceux donnés comme juste équilibre entre cohérence et complexité."

La modélisation avec des équations différentielles a pour but d'expliquer une dynamique grâce à la valeur de variables à un temps donné et les échanges auxquels elles répondent. Le modèle le plus communément admis est celui de Lokta-Volterra reliant population de loups et populations de lapins. Alors que les variables sont la quantité de loups et la quantité de lapins; le modèle auquel elles répondent est construit grâce à des taux de natalité, de mortalité et d'interactions (ici prédation). Ainsi par exemple, plus il y a de loups plus il y a de loups (taux de natalité) mais plus il y a de loups, moins il y a de lapins (prédation). Ramenés à des échelles de populations cellulaires ou moléculaires, des modèles adaptés peuvent déterminer les agents et interactions sensibles, d'aborder le squelette d'une dynamique et de tester virtuellement des hypothèses thérapeutiques (échanges ou variables ciblés virtuellement).

La modélisation statistique, quant à elle, assume que le patient n'est



pas le premier à passer une IRM et donc que l'on peut utiliser l'ensemble des données issues de l'IRM connues pour traiter la sienne. Il existe deux types de statistiques : les statistiques descriptives qui exhibent des informations mathématiques sur un échantillon donné et les statistiques inférentielles qui étendent les résultats de l'échantillon à la population dont il est issu. Outre gérer un nombre important de variables, ces méthodes expliquent une variable de sortie en fonction de variables d'entrées : par exemple la manière dont l'âge impacte le développement de tumeurs dans le cerveau. Les études statistiques permettent de comprendre et prédire mais également de distinguer ce qui est normal de ce qui devrait être inquiétant dans le but d'adapter une thérapie.

Comme souvent dans le monde du vivant mais aussi dans celui des sciences, les meilleurs résultats sont ceux donnés comme juste équilibre entre cohérence et complexité.

LES OPÉRATIONS PORTENT LEURS FRUITS

Comprendre et prédire pour mieux soigner, telle pourrait être la devise des mathématiques impliquées dans la compréhension des images d'IRM. Grâces aux différents types de modélisations et à l'informatique, des modèles *In Silico* (c'est-à-dire des simulations par ordinateur) peuvent donner des intervalles de variations pour les variables suivies mais également simuler le fonctionnement d'un organe ou son évolution. Ces différents outils peuvent aussi servir de support à l'intelligence artificielle pour aider au diagnostic et prédire l'évolution d'un problème médical.

Le LMA, le CHU de Poitiers et le laboratoire Xlim (UMR 7252 - CNRS/ Université de Limoges/ Université de Poitiers) entament des travaux de traitement d'image issus d'IRM et de deep learning, une technique d'apprentissage profond. C'est un autre moyen pour traiter un nombre important de données grâce à des réseaux de neurones artificiels et aux statistiques. La machine apprend par elle-même des données connues pour définir comment qualifier une nouvelle donnée, par exemple en utilisant un arbre de décision. Appliqué à des images d'IRM, cela permettrait d'avoir un avis machine pour le diagnostic d'une tumeur.

Un examen médical routinier regorge de nombreux défis et concepts pouvant être abordés d'un point de vue mathématiques. Mieux les comprendre, les analyser et les résoudre permettrait de tirer plus d'informations des données disponibles et de proposer des stratégies thérapeutiques adaptées grâce à des méthodes optimisées, plus rapides, moins invasives, moins coûteuses.

Angélique PERRILLAT-MERCEROT < LMA angelique.perrillat@univ-poitiers.fr http://rech-math.sp2mi.univ-poitiers.fr/

La pile à combustible régénérative unifiée, du 2 en 1

C'est une nouvelle technologie qui fait petit à petit son chemin, en associant deux autres déjà bien connues : les piles à combustible et l'électrolyse de l'eau. La combinaison de ces deux systèmes mobilise des chercheurs de l'IC2MP sensibles aux problématiques de transition énergétique et d'environnement durable.



Dispositif de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau

Depuis de nombreuses années, des chercheurs de l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP - UMR 7285 CNRS / Université de Poitiers) s'intéressent aux piles à combustible et à l'électrolyse de l'eau afin de trouver des solutions aux besoins futurs en énergie. Pour que cette technologie de pile régénérative unifiée, qui utilise ou produit le dihydrogène, s'intègre pleinement dans la modification profonde des modes de production et de consommation d'énergie, plusieurs verrous doivent être levés.

"... un projet innovant qui préserve l'environnement."

En raison de sa forte densité d'énergie spécifique, le dihydrogène (constitué de deux atomes d'hydrogène) est considéré comme le vecteur énergétique le plus prometteur pour le développement de systèmes stationnaires et/ou mobiles de conversion d'énergie. La mise en œuvre de ces applications réduirait à la fois la dépendance des pays développés vis-à-vis de la consommation de combustibles fossiles et l'empreinte environnementale forte associée au modèle énergétique existant. L'hydrogène présente de multiples avantages : il est l'un des éléments les plus abondants sur Terre ; il est non polluant, non toxique, et la combustion du dihydrogène dans l'air ne génère que de l'eau.

La consommation mondiale de dihydrogène n'est aujourd'hui que de 60 millions de tonnes par an, ce qui est associé à moins de 2 % de la

production mondiale en énergie. À quantité égale, cet élément gazeux produit quatre fois plus d'énergie que le gaz naturel ou le pétrole. 2 kg de dihydrogène par jour suffiraient à satisfaire les besoins énergétiques en électricité d'une famille moyenne de 4 personnes.

Le dihydrogène et l'électricité ont des propriétés complémentaires : l'électricité est un "vecteur de flux" tandis que le dihydrogène est un "vecteur de stockage". Le passage de l'un à l'autre est envisageable par la réaction réversible, impliquant l'utilisation d'électrolyseurs et de piles à combustible.

UN SYSTÈME COMPACT ET AUTONOME

Ce concept de conversion réversible est à la base de l'élaboration de piles à combustible dites " régénératives ". Il s'agit d'un système associant deux fonctions intégrées dans un unique composant (2 en 1) ayant la possibilité d'alterner le fonctionnement en pile à combustible et en électrolyseur. La pile à combustible est un convertisseur d'énergie. Elle est constituée de deux électrodes (une anode et une cathode) et d'un électrolyte conducteur ionique. Elle est capable de produire de l'énergie électrique, de l'eau et de la chaleur à partir de dihydrogène et de dioxygène. Le dihydrogène est oxydé à l'anode, produisant 2 électrons et 2 protons par molécule. Les électrons passent dans le circuit électrique externe et produisent l'électricité. Les protons traversent l'électrolyte pour participer, à la cathode, à la réaction de réduction du dioxygène (RRO) en eau. L'électricité résultante peut servir pour des applications stationnaires (électricité résidentielle) ou mobiles (transport).

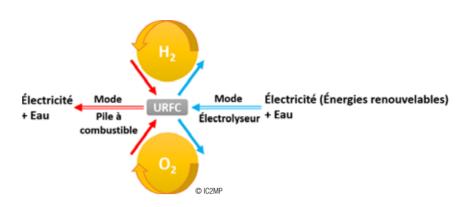


Schéma d'un système deux en un (URFC : United Regenerative Fuel Cell)

L'électrolyse de l'eau est basée sur la dissociation de cette molécule en deux corps simples gazeux qui sont H₂ et O₂. L'électrolyse s'effectue au sein d'une cellule dont les composants sont similaires à ceux d'une pile à combustible (un électrolyte conducteur ionique, une anode et une cathode). L'anode est le siège de la réaction de dégagement de dioxygène (RDO), tandis que de la cathode permet la production de dihydrogène de haute pureté. L'énergie électrique qui alimente l'électrolyseur peut être fournie par des énergies renouvelables (éolienne, solaire...). Ces énergies sont stockées sous forme de dihydrogène. Ainsi, les piles à combustible régénératives peuvent être considérées comme un système électrochimique de stockage et de conversion d'énergie, possédant une longue durée de vie et s'incluant dans un projet innovant qui préserve l'environnement.

DES CATALYSEURS MOINS ONÉREUX

Ces piles régénératives sont encore à l'étape de prototype. Leur exploitation commerciale à grande échelle nécessite encore de nombreux développements dont celui lié aux matériaux d'électrodes. Différents aspects restent encore à étudier et à optimiser, comme par exemple le stockage du dihydrogène, les faibles densités de puissance. Par ailleurs, l'amélioration des cinétiques de réaction engendrant une augmentation de l'activité des électrodes nécessite l'emploi de matériaux catalytiques performants. Les matériaux souvent utilisés dans ces applications sont des métaux appartenant au groupe du platine. Très coûteux (environ 30 €.q⁻¹), ils sont présents en quantité limitée dans l'écorce terrestre et constituent des réserves stratégiques (Afrique du sud, Canada et Russie). Conformément aux directives européennes, il faut proscrire leur utilisation ou diminuer fortement leur teneur dans ces applications. C'est pourquoi, de nombreuses recherches sont dédiées au développement de catalyseurs à base de métaux de transition 3D, (Fer: 0,0001 €.g⁻¹, Cobalt: 0,026 €.g⁻¹, Nickel: 0,011 €.g⁻¹, Manganèse : 0,018 €.g⁻¹) beaucoup plus abondants dans l'écorce terrestre.

Les cinétiques des réactions de réduction (RRO) et de dégagement (RDO) d'O₂ étant très lentes, les chercheurs doivent élaborer des catalyseurs performants. Très récemment, de nouvelles études dédiées aux oxydes de métaux de transition dispersés sur des supports de type graphène ont été réalisées à l'IC2MP. Le graphène présente de nombreux avantages en électrocatalyse, à savoir, une grande surface spécifique, une bonne conductivité électronique et une bonne stabilité vis-à-vis de la corrosion. La présence de graphène au sein du compo

site améliore les performances électrochimiques des oxydes de métaux de transition (activité et stabilité).

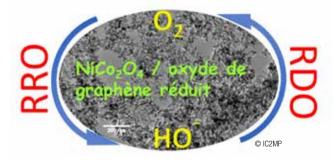
L'utilisation de ces composites à l'électrode à air de piles à combustible régénératives unifiées représente donc sans nul doute une excellente contribution pour une économie basée sur un vecteur énergétique durable, versatile et efficace : l'hydrogène.

Kavita KUMAR < IC2MP
kavita.kumar@univ-poitiers.fr

Aurélien HABRIOUX < IC2MP
aurelien.habrioux@univ-poitiers.fr

Têko NAPPORN < IC2MP
teko.napporn@univ-poitiers.fr

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



Processus à l'électrode à oxygène

Petits arrangements entre... particules

Avant d'être solide, la céramique est un mélange de particules en suspension. Plutôt que de tester de multiples recettes jusqu'à aboutir à des propriétés exceptionnelles, les chercheurs ont recours aux simulations numériques.

L'élaboration des pièces céramiques repose essentiellement sur trois grandes étapes : la synthèse des poudres céramiques, leur mise en forme et leur densification par un traitement thermique. L'étape de mise en forme peut être réalisée par des procédés classiques comme le coulage en moule poreux ou encore par de nouveaux procédés additifs comme l'impression jet d'encre.

La plupart de ces procédés nécessitent l'utilisation de suspensions colloïdales, c'est-à-dire des poudres céramiques introduites dans un solvant généralement aqueux. Lorsque ces poudres, qui sont souvent des oxydes de petites tailles, sont en suspension, différents comportements peuvent être observés. La suspension peut être stable : les particules sont bien dispersées. Ou la suspension peut être instable: les particules s'agrègent et sédimentent. Lorsque des oxydes sont dans l'eau, ils interagissent entre eux d'une part sous l'effet des forces de van der Waals qui tendent à les agréger et d'autre part par des forces électrostatiques dues à l'acquisition d'une charge de surface en présence d'eau. Lorsque la suspension est préparée avec un seul type de poudre, si les forces électrostatiques compensent celles de van der Waals, les particules restent isolées alors que si les interactions de van der Waals dominent les particules s'agrègent.

DES SIMULATIONS POUR COMPRENDRE

La réussite du procédé de mise en forme repose sur la maîtrise du comportement des suspensions. Or de nombreux paramètres peuvent l'influencer : la nature des poudres et leur concentration, le pH, la présence de sel dans les mélanges... Afin de mieux comprendre ce comportement, des simulations numériques sont développées depuis plusieurs années à l'IRCER (UMR7315 Université de Limoges/CNRS). Ces simulations décrivent la trajectoire des particules individuelles au cours du temps dans la suspension et visualisent leurs arrangements mutuels. Il est alors intéressant par exemple d'étudier les paramètres qui favorisent des structures ordonnées, comme celles des cristaux colloïdaux. Les simulations peuvent également permettre d'analyser la porosité ou encore de déterminer des seuils de percolation, c'est à dire la concentration volumique de poudre céramique à partir de laquelle les agrégats forment un réseau tridimensionnel dans l'espace.

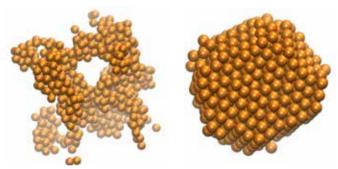
"Les simulations ... très utiles pour comprendre le comportement de suspensions..."

Les particules céramiques étant de petite taille, elles sont soumises au mouvement brownien lorsqu'elles sont en suspension. Elles ont en effet un mouvement erratique dues aux collisions incessantes avec les molécules d'eau, qui doit être pris en compte dans les simulations. Deux types de simulations répondant à ce critère sont ainsi couramment développés à l'IRCER. Le premier est la dynamique brownienne qui est une technique où le mouvement brownien est décrit à l'aide de termes aléatoires sans que les molécules d'eau soient explicitement représentées. Cette méthode est généralement suffisante pour des suspensions

diluées. Dans le cas contraire, une seconde technique plus originale et plus complexe appelée « Stochastic Rotation Dynamics-Molecular Dynamics » est mise en œuvre. Dans celle-ci les particules d'eau sont explicitement représentées, ce qui permet une meilleure représentation de l'hydrodynamique.

VERS DE NOUVEAUX ARRANGEMENTS

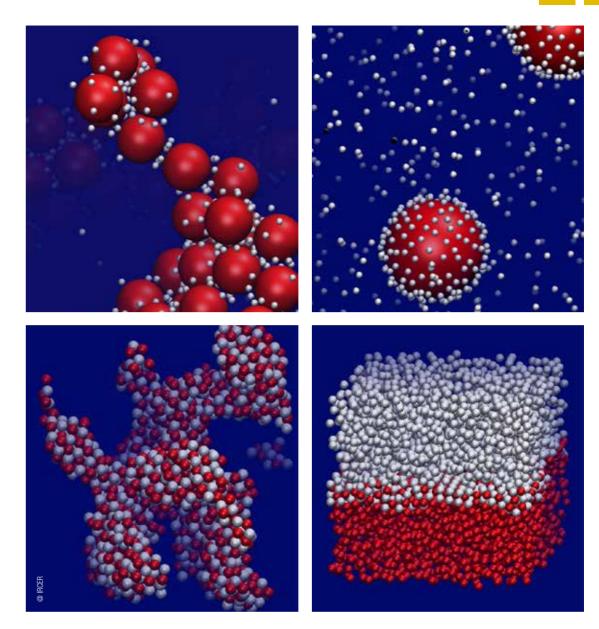
Les simulations numériques développées à l'IRCER permettent de comprendre le comportement de suspensions utilisées au niveau du laboratoire. Elles montrent aussi que de nouveaux arrangements colloïdaux pourraient être obtenus en modifiant certaines conditions expérimentales. En général, lorsque les particules céramiques de même nature s'agrègent, elles forment des agrégats qui sont allongés et branchés. Si des cycles assemblage/désassemblage sont appliqués, les agrégats ne sont plus branchés mais organisés sous forme de cristaux colloïdaux. Cette organisation peut être intéressante notamment pour des propriétés optiques.



Exemples de simulations où les particules céramiques, représentées par les sphères jaunes, se sont agrégées. A gauche, l'agrégation spontanée forme une structure branchée. A droite, des cycles assemblage/désassemblage provoquent une organisation finale plus ordonnée.

Les simulations sont également très utiles pour comprendre le comportement de suspensions où différentes poudres sont mélangées. Les différentes interactions entre les constituants contribuent au comportement final des suspensions qui est ainsi difficile à appréhender sans simulation. Des études effectuées à la fois expérimentalement et numériquement sur des suspensions composées de poudres d'alumine et de silice ont montré une grande variété d'agrégation suivant le pH de la suspension, la taille des différentes particules et leur concentration respective. Certains paramètres permettent en effet d'avoir une charge de surface positive pour l'alumine alors que celle de la silice est négative. Dans ce cas, les particules de silice se repoussent entre elles. Celles d'alumine aussi, alors que les particules d'alumine et de silice s'attirent. On parle alors d'hétéro-agrégation entre l'alumine et la silice.

Si les particules de silice et d'alumine sont de tailles très différentes, les plus petites viennent recouvrir les plus grandes. Cela peut provoquer l'agrégation des grandes particules par la formation de ponts entre elles. Si les petites particules sont très nombreuses, ce recouvrement peut au contraire empêcher l'agrégation des plus grandes particules. Lorsque les particules sont de taille identique, les agrégats formés



Exemples de simulations obtenus avec deux types de particules qui s'hétéro-agrègent : les particules blanches sont chargées négativement alors que les rouges sont chargées positivement. En haut, les différentes particules ont un grand rapport de taille alors qu'en bas, elles ont une taille similaire

sont composés des deux types de particules qui sont répartis de façon homogène. Cette bonne répartition des espèces dans les agrégats peut être recherchée par exemple pour contrôler la porosité dans un matériau si l'une des particules est un porogène qui sera éliminé lors de la cuisson de la céramique.

Tous ces résultats sont obtenus en considérant que la suspension est bien mélangée lors de sa préparation. Récemment, des simulations ont montré que de nouvelles structures pouvaient être obtenues si on mettait en contact une suspension contenant des particules positives avec une suspension contenant des particules négatives de même taille sans les mélanger ensemble auparavant. Dans ce cas, les suspensions se mélangent au niveau de l'interface entre les deux suspensions générant une couche d'agrégats étanche qui bloque l'interdiffusion. Cette couche au cours du temps peut également cristalliser localement.

Toutes ces organisations spontanées sont à l'heure actuelle encore peu

exploitées dans les procédés céramiques classiques qui nécessitent en général des suspensions stables. De futurs développements de nouveaux procédés additifs utilisant ces suspensions auto-organisées sont ainsi envisagés pour obtenir des pièces céramiques non seulement avec des formes complexes mais aussi avec une microstructure mieux contrôlée.

Manuella CERBELAUD < IRCER manuella.cerbelaud@unilim.fr Arnaud VIDECOQ < IRCER arnaud.videcoq@unilim.fr http://www.ircer.fr/

Attention ça chauffe : vers la sobriété énergétique des futurs systèmes de télécommunications 5G

C'est une course poursuite dans laquelle s'engagent les physiciens, électroniciens et informaticiens pour toujours optimiser les smartphones et autres tablettes à l'aube de la 5G.

L'avènement de la 4G depuis 2010 a conduit à une démocratisation de l'accès à internet. Il s'est progressivement traduit par une offre de services extrêmement gourmands en débit comme la diffusion en streaming de contenus vidéo en très haute définition... Cette connectivité universelle actuellement proposée - qui devrait exploser dans le futur - est associée à de très importantes quantités de données échangées. C'est pour cette raison que derrière des interfaces transparentes pour l'utilisateur, les dispositifs électroniques doivent être de plus en plus intégrés tout en maintenant une consommation énergétique réduite. Parmi ces équipements, les terminaux radiofréquences, situés à l'interface avec le canal de propagation constituent une thématique importante de recherche du laboratoire XLIM.

Un des éléments critiques dans les terminaux d'émission devant supporter ces nouvelles utilisations est l'amplificateur de puissance microonde. Son rôle, simple mais crucial, est de générer un niveau de puissance suffisant pour l'antenne d'émission. Son fonctionnement électrique se trouve en effet extrêmement contraint par la nature des signaux complexes échangés. Cela impacte de façon critique tant la consommation électrique globale que l'intégrité des signaux transmis. XLIM développe des axes de recherche à la croisée de la physique, de l'électronique et de l'informatique, autour de la thématique des circuits électroniques non-linéaires hautes fréquences pour des applications d'amplification de puissance.

UNE COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES PHYSIQUES

Depuis les années 90, de nouvelles filières technologiques de transistors microondes à semi-conducteurs ont conduit à l'arrivée à maturité de composants prédisposés aux applications de puissance aux très hautes

Alimentation fixe

Mauvaise efficacité énergétique maintenue élevée

Signal radiofréquence modulé

Aire rouge = énergie dissipée sous forme de chaleur

Illustration du principe d'amélioration du rendement électrique de l'amplificateur de puissance. A gauche avec alimentation fixe, à droite avec alimentation variable.

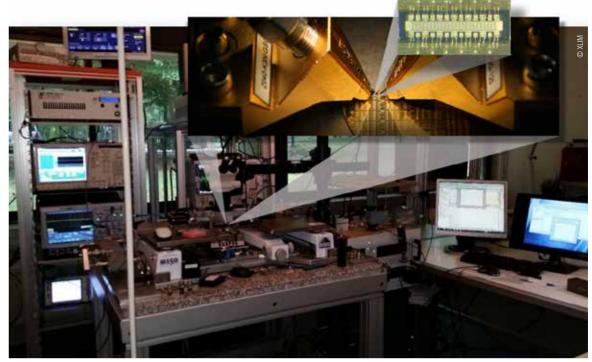
fréquences. Ils sont constitués de composés binaires « III-V » à base de bore, gallium, aluminium, indium. Leurs propriétés physico-chimiques (mécanisme de transport des porteurs de charge, tenue en température et en champ électrique) permettent actuellement aux transistors de puissance d'atteindre des performances inégalées à des fréquences toujours plus hautes. Du fait de leur complexité et des densités de puissance à dissiper - de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de Watts par cm² -, la compréhension des mécanismes physiques en jeu dans ces composants nécessite d'associer des compétences dans des disciplines aussi diverses que la thermodynamique, l'électromagnétisme et la physique du semi-conducteur.

"... minimiser la puissance électrique consommée... augmenter l'efficacité énergétique..."

Le laboratoire s'est historiquement associé à ce développement, d'abord dans les premières études concernant les transistors AsGa (Arséniure de Gallium) dès les années 90, puis depuis les années 2000 avec les premières générations de transistors GaN (nitrure de gallium). Ces études ont progressivement conduit à une meilleure connaissance de la nature des effets parasites limitant les performances théoriques des nouveaux composants. Ces effets sont, par exemple, d'origine thermique du fait de l'auto-échauffement du semi-conducteur, mais également de piégeage électronique à l'interface de couches dans la structure, et conduisant ultimement à une dégradation structurelle. Les travaux menés au laboratoire ont notamment abouti à l'essor de modèles avancés pour la CAO*, qui permettent une meilleure prise en



Banc de test expérimental émulant une solution d'amplification adaptative mêlant les aspects d'électronique radio-fréquence, d'électronique de puissance et d'électronique de contrôle pour la validation des concepts développés.



Exemple d'outil expérimental développé au laboratoire permettant la caractérisation des circuits et composants hyperfréquences.

compte de ces phénomènes lors des étapes de conception d'amplificateurs concus autour de ces composants à semi-conducteurs.

DES ARCHITECTURES INNOVANTES ET ADAPTATIVES

Parallèlement à l'intégration de ces nouvelles filières de composants, des efforts de recherche importants concernent le déploiement d'architectures d'amplificateurs « énergétiquement sobres », présentant une consommation électrique réduite. Ces architectures - dites adaptatives sont capables de gérer de façon optimale les fluctuations en puissance des signaux d'information transmis, à la fois sur des constantes de temps courtes (gestion dynamique) mais aussi sur le long terme (gestion du trafic), afin d'envisager un fonctionnement multistandard des terminaux radiofréquences.

Afin de réduire significativement cette consommation énergétique, l'idée sous-jacente est de contrôler différents paramètres extérieurs à l'amplificateur au rythme du signal d'information à transmettre. En effet, pour un amplificateur conventionnel, la situation décrite actuelle conduit à une forte consommation de puissance électrique sur l'alimentation qui se traduit directement par une dissipation de chaleur, notamment lorsque la puissance du signal est faible. Les conséquences en termes de coût, de gestion de l'évacuation de la chaleur et de la fiabilité des équipements intégrés sont alors extrêmement pénalisantes. En modifiant au rythme du signal transmis un paramètre tel que la tension d'alimentation, il devient alors possible de minimiser la puissance électrique consommée et ainsi d'augmenter l'efficacité énergétique de l'amplificateur. Bien qu'actuellement couramment déployées, ces briques technologiques sont à l'étude afin de démontrer toutes leurs potentialités dans un contexte futur marqué par la montée en fréquence et en débit utile des systèmes. Ceci nécessite de lever de nombreux verrous technologiques pour lesquels une concurrence forte - tant académique qu'industrielle existe, et dans laquelle chaque point d'efficacité énergétique gagné représente une avancée significative.

DES MOYENS D'INSTRUMENTATION UNIQUES

Dans leurs recherches, les équipes du laboratoire XLIM s'appuient sur les moyens d'instrumentation de la plateforme PLATINOM** qui offre notamment des outils uniques dédiés à la caractérisation des procédés microondes. Le laboratoire possède des outils expérimentaux pour la mesure de réponses électriques des composants et modules non-linéaires. Il détient également des moyens spécifiques de capture et d'analyse des différents effets parasites dégradant leurs performances.

La mesure des tensions et courants aux accès des dispositifs actifs constitue une information précieuse longtemps recherchée. Elle apporte une compréhension fine des mécanismes de fonctionnement. L'un des points clefs actuellement au cœur des problématiques réside dans l'interaction complexe qui existe entre les dispositifs non linéaires et les signaux applicatifs réels de plus en plus sophistiqués. Le but est d'obtenir des réponses électriques réalistes, modélisables et extrapolables. Ceci suppose de pouvoir capturer des supports fréquentiels extrêmement larges (du continu jusqu'à plusieurs centaines de GHz). Il constitue un domaine de recherche à part entière. Ces moyens expérimentaux permettent notamment la mise au point et la validation des modèles électriques de composants microondes, et à plus grande échelle, la validation expérimentale des solutions d'amplification adaptatives construites autour de ces composants.

Pierre MEDREL < XLIM pierre.medrel@xlim.fr Audrey MARTIN < XLIM audrey.martin@xlim.fr Philippe BOUYSSE < XLIM philippe.bouysse@xlim.fr www.xlim.fr

^{*} Conception assistée par ordinateur

^{**} Platinom : PLateforme d'Instrumentation pour l'Optique et les Microondes

L'actualité en images

VISITE MINISTÉRIELLE



Dans le cadre d'une décentralisation générale du gouvernement, Frédérique Vidal, Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, s'est rendue au laboratoire Interfaces Confinement Matériaux et Nanostructures (ICMN UMR 7374 CNRS/Université d'Orléans).



Comme de tradition la ministre a visité des équipes et échangé quelques mots avec des doctorants satisfaits de pouvoir lui pésenter le dispositif EDIFICE et le premier colloque Jeunes Chercheurs du 20 avril 2018.

17 mai

Orléans

VISITES D'ANTOINE PETIT



Antoine Petit s'est déplacé à deux reprises à Orléans, en avril et en juin. Accueilli par les personnels de la Délégation avec lesquels il a eu quelques échanges cordiaux, il a ensuite rencontré des Talents du campus (Mathieu Allix, médaille de Bronze 2013, Conchi Ania, Lauréate ERC et Eva Jakab-Toth, médaille d'Argent 2018) avant de s'entretenir avec le Président de la Région Centre-Val de Loire sur des enjeux de politique scientifique locale. Pour son deuxième déplacement, Antoine Petit a réuni les directeurs des unités de la circonscription, une occasion de leur rappeler les 6 enjeux



de son mandat : soutenir, dans tous les domaines, une recherche fondamentale au meilleur niveau, promouvoir l'interdisciplinarité, travailler avec les acteurs industriels et économiques sur les innovations de rupture, jouer un rôle moteur dans la présence de la recherche française au niveau international, refonder les partenariats avec les université autonomes, apporter une culture et une expertise scientifique aux décideurs et à la société.

Orléans

6 avril - 11 iuin

PROMESTOCK

Le projet PROMESTOCK, Contrat de Plan Etat Région (CPER), a pour vocation de fédérer un ensemble d'équipements et d'expertises autour des thématiques matériaux, procédés et stockage de et pour l'énergie et l'environnement. Dans sa globalité, PROMESTOCK bénéficie de fonds européens, de l'Etat (Ministère, CNRS, BRGM, CEA) et de la Région Centre Val de Loire pour un montant de 9,24M €. Parmi la dizaine de sous-projets, celui qui a mobilisé le plus de fonds concerne un microscope électronique en transmission (MET) à Haute résolution en imagerie et en analyse qui sera le 5^{ème} au niveau national et le 1^{er} sur la moitié ouest du pays. Il arrivera mi-juillet sur le campus CNRS pour équiper la nouvelle plateforme de microscopie du Grand Campus.

iuillet

rieans

JOURNÉE MONDIALE DE L'OCÉAN



Au Musée Maritime de La Rochelle, l'Ecole de la Mer coordonnait l'atelier du LIENSs sur "biodiversité et réseaux trophiques" qui a intéressé 480 élèves sur la journée.

8 juin

La Rochelle



A l'Aquarium de La Rochelle, c'est un autre atelier avec les chercheurs de l'Observatoire PELAGIS et les scientifiques du Centre d'Etudes et de Soins pour les Tortues Marines de l'Aquarium qui a attiré 350 élèves sur la journée.

UN DÉTOUR PAR LA SCIENCE



Depuis quelques années Orléans organise son VéloTour. Cette année près de 7000 cyclistes ont traversé des lieux insolites dont Centre Sciences, CCSTI de la Région Centre Val de Loire,. Avant de poser pied à terre pour s'essayer aux mallettes pédagogiques ou autres petites « manips » les participants devait longer l'allée de tilleuls où étaient exposés quelques vues de l'exposition QuinteScience réalisée en 2017 par la Délégation régionale.

10 iuin

Orléans



Le télétravail en quelques dates

12 - 30 mars : enquête auprès des agents 9 - 27 avril : enquête auprès des encadrants

Fin juin - fin septembre : sensibilisation des DUs et des agents

1er - 31 octobre : réception des 1ères demandes

30 nov - 31 décembre : 1ère réponses

1er **janvier 2019 :** 1ère période de démarrage du télétravail (*tous les échanges avec les organisations syndicales ou les comités ne sont pas

mentionnées ici).

http://blog-rh.cnrs.fr/

à venir...

Collogues

17th EDF - Pprime workshop

Etanchéité verte : Comment combiner faible fuite et faible frottement ?

Rencontre des chercheurs et des industriels spécialistes de la réduction des impacts environnementaux grâce à des systèmes d'étanchéité innovants

https://edf-pprime-2018.sciencesconf.org/

4 octobre

Saclay

IMAPS - Power 2018

From Nano to Macro Electronics and Packaging International Workshop

Réunion de la communauté mondiale de microélectronique réunissant scientifiques, fabricants, utilisateurs finaux et entreprises de la chaîne d'approvisionnement.

www.france.imapseurope.orgimaps.france@imapsfrance.org

8 novembre

Tours

Manifestations



MANIFESTATION - Rencontre avec les chercheurs et ingénieurs de la station de 13h30 à 17h30. Conférences et visites du grand radiotéléscope et des radiotéléscopes géants : NenuFAR et LOFAR.

https://www.obs-nancay.fr/

16 septembre

Nançay







