NUMÉRO 17

NOVEMBRE 2008

MICROSCOOP HORS-SÉRIE

LE JOURNAL DU

CNRS

EN DÉLÉGATION CENTRE POITOU-CHARENTES

> BIODIVERSITÉ
4 000 nichoirs dans la plaine

> HISTOIRE ET ARCHÉOLOGIE
Les manuscrits liturgiques

> ÉNERGIE
Naissance d'un moteur fusée en laboratoire

> HISTOIRE ET ARCHÉOLOGIE

Marmoutier : archéologie d'un espace monastique

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Hors-série
Microscoop
Numéro **17**
novembre 2008

CNRS Délégation
Centre Poitou-Charentes
3E, Avenue
de la Recherche scientifique
45071 ORLÉANS CEDEX 2
Tél. : 02 38 25 52 01
Fax : 02 38 69 70 31
www.centre-poitou-charentes.cnrs.fr
E-mail :
Eric.Darrouzet@dr8.cnrs.fr

Directeur de la publication
Josette Roger (CNRS)
Rédacteur de la publication
Eric Darrouzet (CNRS)
Secrétaire de la publication
Florence Royer (CNRS)

Ont participé à ce numéro
Denis Alamargot, Yves Almecija, Cyril Breque, Thierry Buquet, Daniel Desbordes, Sylvie Houte, Mohamed Jaber, Jérémy Jacob, Iskender Gökalp, Gérald Guillaumet, Agnès Lacroix, Sylvie Laurens-Aubry, Claudio Lazzari, Jean-Baptiste Lebigue, Elisabeth Lorans, Olivier Martin, Patrick Midoux, Stephen Morrison, Valérie Quesniaux, Isabelle Rigoni, Benoît Rittaud, Laurent Robin, Michel Scepi, Franck Suzenet, Ratiba Zitoun

Création graphique
Enola Création
> 02 38 76 96 35

Imprimeur
Imprimerie Nouvelle

ISSN 1247-844X

Photo de couverture
Le coteau de Marmoutier percé de grottes restaurées au XIXe siècle.

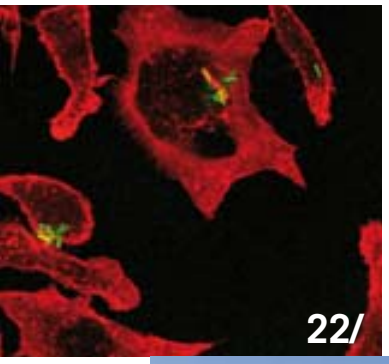
édito

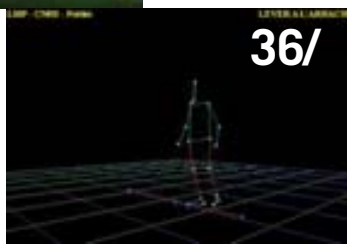
Nous retrouvons le numéro Microscoop Hors série n° 17 préparé dans le cadre de la Fête de la science comme chaque année.
Ce numéro est le premier placé sous la responsabilité d'Eric Darrouzet qui a succédé à Danièle Le Roscouët-Zelwer en tant que chargé de communication pour la délégation régionale depuis septembre. Ce numéro a donc fait l'objet d'un soin particulier pour maintenir la tradition de qualité et de diversité de notre journal et spécialement du numéro hors série d'un format plus important et plus exigeant dans sa composition.
Le choix des articles met en lumière des travaux menés dans une large sélection de domaines et dans un grand nombre de laboratoires répartis sur tout le territoire de la circonscription (Chizé, Poitiers, Tours, Orléans).
A l'occasion de la Présidence française de l'Union européenne, le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a décidé de donner une ampleur particulière à la Fête de la Science dans le cadre de « La Ville européenne des Sciences » du 14 au 16 novembre, au Grand Palais. Cette manifestation permettra à un nombreux public de découvrir la manière dont l'Espace européen de la recherche est mis en ouvre. Plusieurs laboratoires de la circonscription, membres du réseau des Maisons des Sciences de l'Homme, y participeront ainsi que le laboratoire Littoral Environnement et SociétéS de La Rochelle.
Puis du 17 au 23 novembre la Fête de la Science se prolongera sur l'ensemble du territoire.
A Poitiers, les laboratoires interviendront dans les établissements scolaires ou participeront aux actions initiées par l'Espace Mendès-France, CCSTI de la région Poitou-Charentes.
A La Rochelle, le laboratoire Littoral Environnement et SociétéS (LIENSs) ouvre pour la première fois ses portes et anime des conférences, rencontres et ateliers.
Coordonnée par l'université, la Fête de la Science propose une programmation croisée avec la semaine de la solidarité internationale.
A Chizé, le Centre d'Études Biologiques accueillera le public, animera des conférences-débats et organisera la projection de films scientifique et une exposition
A Tours, le village des sciences, sur le site de l'Université François Rabelais, réunira les laboratoires de recherche pour une présentation de leurs activités au public.
A Orléans, c'est le BRGM qui organise la fête de la science. 2008 a été, en effet, l'année de la planète Terre, il était donc tout à fait évident que le BRGM était l'établissement de choix pour accueillir et piloter l'ensemble des manifestations avec Centre Sciences, coordinateur en région Centre.
Je souhaite à cette nouvelle édition le plein succès qu'elle mérite. Je souhaite que le public vienne une fois de plus à la rencontre des scientifiques pour échanger sur les questions de société qui préoccupent chacun d'entre nous. Je souhaite aussi ardemment que les jeunes lycéens participent et se laissent séduire par les présentations qui leur seront faites de la recherche dans toute sa diversité et développent l'envie d'orienter leurs études et leur avenir vers des carrières scientifiques. La recherche et l'innovation sont une nécessité pour notre société, nous devons en faire un plaisir attractif pour les jeunes. La fête de la science est un moment clé mais il n'est pas le seul. En effet, nos équipes de communication, en concertation avec les CCSTI et les rectorats, organisent et animent tout au long de l'année de nombreux clubs, conférences, rencontres pour faire renaître notre intérêt pour les sciences chez les jeunes.
Cet éditorial est le dernier pour moi après quarante ans de carrière majoritairement au CNRS, dont quatre dans cette fonction de déléguée régionale de la circonscription Centre Poitou-Charentes, j'arrête mon activité professionnelle.
Longue vie et plein succès à Microscoop, j'en resterai une lectrice assidue.

Josette ROGER
Déléguée régionale

Microscoop / Hors-Série
Numéro 17 – novembre 2008

16/





Histoire / Archéologie
- Marmoutier : archéologie d'un espace monastique 4/
- Les manuscrits liturgiques, témoins oubliés de la culture… 6/
- Anglais médiéval 8/

Environnement
Les fossiles… moléculaires 10/

Biodiversité
- 4 000 nichoirs dans la plaine 12/
- Oh punaise ! 16/

Biologie
- Réparation des lésions du cerveau par greffe 20/
- Les bactéries sources de médicaments 22/
- Diabète : de nouveaux médicaments à l'étude 24/
- Une nouvelle voie de vaccination anti-tumorale 26/

Énergies
- La biomasse, source d'énergies 28/
- Naissance d'un moteur fusée en labo 32/

Mathématiques
Une si particulière racine carrée 34/

Matériaux
La biomécanique en plein essor à Poitiers 36/

Cognition
Syndrome de Williams 38/

Société
- L'étude de l'écriture et de son apprentissage 40/
- Les médias des minorités ethniques 42/

© CITERES-LAT

Un bâtiment d'origine antique en cours de fouille. Sa fonction première est encore indéterminée (partie d'une villa suburbaine ?) mais la construction soignée dénote un édifice de qualité qui fut réutilisé par la communauté monastique pendant plusieurs siècles.

Le coteau de Marmoutier percé de grottes restaurées au XIXe siècle. À droite, la tour des cloches, clocher séparé de l'église romane, aux allures de donjon.

Marmoutier : archéologie d'un espace monastique

Le site de Marmoutier à Tours est la première fondation monastique de l'Occident chrétien, établie par saint Martin dans le dernier tiers du IVe siècle. Depuis 2004, le Laboratoire Archéologie et Territoires du Centre Interdisciplinaire CItés, TERritoires, Environnement et Sociétés (CITERES – UMR 6173 CNRS-Université François Rabelais de Tours) étudie cet espace aux multiples fonctions – religieuses, domestiques et funéraires – en prenant en compte les contraintes liées à l'environnement, en premier lieu la proximité de la Loire.

Ce programme de recherche ARCHEA, soutenu par la Ville de Tours, la Région Centre et l'État, s'inscrit dans le prolongement de trente années de recherches archéologiques sur la ville de Tours.

Dissout à la Révolution, le monastère fut largement détruit au début du XIXe siècle mais son emprise, qui couvrait plus de 17 ha, à la fois dans la vallée et sur le plateau, depuis le XIVe siècle au moins, fut préservée par la création d'une institution d'enseignement privé dans les années 1840. Ainsi, Marmoutier offre-t-il aujourd'hui l'occasion rare d'étudier un site monastique périurbain dans la longue durée, en mettant en œuvre diverses méthodes d'investigation : prospections géophysiques et forages géologiques, relevé des vestiges médiévaux et modernes encore en élévation et fouille des épais dépôts stratigraphiques qui rendent compte d'une occupation multiséculaire.

Une occupation d'origine antique

L'étude de la formation du site monastique passe par l'examen critique de ses origines relatées par le biographe de Martin, Sulpice Sévère, qui évoque le caractère sauvage des lieux, *un topos(*)* littéraire infirmé par les découvertes archéologiques. Celles-ci témoignent d'une occupation antique des IIe-IIIe siècles sous la forme d'un vaste bâtiment maçonné, partiellement reconnu, qui fut utilisé jusqu'aux VIIe-VIIIe siècles en connaissant de multiples transformations. La réutilisation de constructions antérieures est un fait souvent constaté pour les fondations religieuses les plus précoces, dont beaucoup furent éphémères. À Marmoutier, les frères qui se rassemblèrent autour de Martin ont tiré parti de bâtiments existants mais aussi creusé des grottes dans le coteau, adoptant ainsi le modèle de vie semi-érémitique des moines du désert.

La multiplicité des lieux de culte

Marmoutier, comme la majorité des monastères de fondation ancienne, fut longtemps caractérisé par un grand nombre de lieux de culte remplissant des fonctions complémentaires.
L'église majeure, dont trois états successifs sont actuellement connus, datés entre les alentours de l'an mil et le XIVe siècle, accueillait les liturgies quotidiennes de la communauté. L'élément le plus spectaculaire aujourd'hui conservé est la crypte de l'édifice roman que ceinturait un déambulatoire, selon un plan caractéristique des églises de pèlerinage. Des églises secondaires, dans l'enceinte ou à sa périphérie immédiate, accueillaient des reliques, objets

(*) Expression consacrée pour désigner une affirmation, un cliché que l'on retrouve fréquemment dans les sources narratives mais qui ne renvoie pas à la réalité.

© CITERES-LAT

La crypte de l'église romane, datée des environs de 1 050.

Stagiaires du chantier-école de la formation d'archéologie à l'université de Tours.

de dévotion des moines et des fidèles laïcs. À l'écart du pôle monumental formé par l'église abbatiale et le cloître, établi au pied du coteau, se dressait à l'est l'infirmerie dotée de sa propre église dédiée à saint Benoît.

L'hôtellerie et son cimetière

À l'ouest, à proximité de l'accès principal situé sur la voie qui longeait le coteau, fut construite à la fin du XII[e] siècle l'hôtellerie destinée à l'accueil des hôtes de marque, ecclésiastiques et laïcs. Ce vaste bâtiment d'une cinquantaine de mètres de long fut détruit aux deux tiers après la Révolution. L'analyse architecturale de la partie subsistante et la fouille partielle de ce qui fut démoli permettent de restituer un édifice à deux niveaux : un rez-de-chaussée voûté qui remplissait des fonctions de stockage et un étage ouvert jusqu'à la charpente à fonction résidentielle.

Sur le flanc nord du bâtiment, la fouille a révélé l'existence d'une aire d'inhumation destinée à des laïcs, comme l'attestent la présence d'au moins une femme et un adolescent. Cette découverte accentue la complexité de la topographie funéraire du monastère connue à la fois par des textes médiévaux et des données archéologiques : dans la mort aussi, religieux et laïcs étaient séparés, les dignitaires du monastère étant en majorité inhumés dans l'église abbatiale, les simples moines dans un cimetière qui leur était réservé. Qui étaient les défunts associés à l'hôtellerie : des visiteurs de passage ou des laïcs attachés au service du monastère ?

Le monastère dans son environnement

Implanté dans une partie étroite de la vallée, entre le coteau et la Loire, le monastère a été confronté aux risques d'inondation tout au long de son histoire, des risques que la construction de la levée – à une période qui reste à déterminer – n'a pas annulés. La présence d'un cours d'eau souterrain traversant le site étant mentionnée à l'époque moderne, des prospections électriques et des forages géologiques ont été effectués par l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO - UMR 6113 CNRS/Université d'Orléans) pour mieux localiser ce qui doit correspondre à un paléochenal de la Loire.

La fouille a mis en évidence une autre contrainte que la communauté dut gérer en révélant des affaissements de terrain anciens dont l'origine n'est pas encore connue (proximité de la nappe phréatique ?). Cela apparaît notamment à travers les maçonneries et les épais remblais établis avant la construction de l'hôtellerie, pour compenser le fort pendage nord-sud d'une zone ouverte située en avant de l'église abbatiale.

Chantier-école de la formation d'archéologie de l'Université de Tours, le site accueille chaque été une vingtaine de stagiaires, ainsi formés à la fouille, aux méthodes de relevé et au traitement du mobilier. ■

Contact : Elisabeth LORANS
elisabeth.lorans@univ-tours.fr

Restitution du plan général du monastère à la veille de la Révolution.

© CITERES-LAT

Les manuscrits liturgiques,
témoins oubliés de la culture médiévale

Quantité de manuscrits médiévaux traite des cérémonies religieuses : ces livres liturgiques, de tous les plus mal répertoriés et les moins connus, n'intéressent pas seulement les spécialistes du culte et des rites. Ils fournissent aux historiens et aux archéologues, des témoignages sur la vie quotidienne au Moyen Âge que les archives ou les fouilles ne suffiraient pas à reconstituer.

À la fin du XIII[e] siècle, à Cambrai (Nord), le lundi qui suit le dimanche de La Trinité, huit jours après la Pentecôte. Vers midi, les chanoines de Saint-Géry forment une procession en l'honneur de la Vierge. Ils sortent de leur collégiale située sur le Mont-aux-Bœufs. Le chapelain en chape de soie, un diacre et un sous-diacre en aubes portent les deux bras-reliquaires en argent de saint Géry et l'évangile. Ils sont précédés de trois enfants porte-croix, de deux autres maniant des encensoirs, et de deux laïcs chargés de lanternes. Les suit la grande châsse du saint, soutenue par des hommes tenant leurs fiefs de la collégiale ; derrière elle, une effigie de dragon emprisonnant un coq vivant dans sa gueule, puis des étendards. Parcourant toute la ville, la procession de Saint-Géry se joint, entre le marché aux chevaux et la place au change, à celle des chanoines de la cathédrale Notre-Dame, qui portent avec eux le reliquaire de sainte, puis à celle de l'abbaye Saint-Aubert. L'itinéraire sillonne la ville : sur son passage, les cloches de chaque église sont mises en branle, mêlant leurs sonneries aux chants. Le retour a lieu vers trois heures, pour l'office de none.

Début de la préface commune au canon de la messe. Missel à l'usage d'Anchin Anchin, vers 1200 Douai, Bibl. mun., ms. 90, t. II, f. 98v-99

Du cadre où avait lieu cette procession spectaculaire, familière aux habitants de Cambrai au Moyen Âge, bien peu de chose subsiste aujourd'hui. L'église collégiale du Mont-aux-Bœufs a disparu, et déplacée sur ordre de l'empereur Charles Quint pour bâtir une citadelle ; la cathédrale Notre-Dame et sa merveilleuse tour-porche n'ont pas survécu à la Révolution française ; de même les reliques, les châsses orfévrées et les vêtements liturgiques ; le tracé de la plupart des rues empruntées par la procession a été modifié ou effacé par les destructions lors de la retraite allemande à la fin de la première guerre mondiale. Ce qui reste en revanche, ce sont plusieurs manuscrits liturgiques de l'époque, en particulier l'ordinaire de Saint-Géry, qui décrit minutieusement cette procession, ses acteurs et son parcours, donnant le nom des rues et des églises par où elle doit passer.

Grâce à ces manuscrits, c'est tout un pan de la vie quotidienne au Moyen Âge qui est restitué : les divisions du temps, celui de la journée par la sonnerie des cloches ou de l'année par la succession des festivités, les représentations de drames liturgiques, les vivres distribués aux pauvres ou aux malades à telle ou telle occasion, les menus des repas de fêtes, etc. Sans oublier la valeur archéologique des toponymes anciens, des précisions sur le mobilier des églises ou leur disposition intérieure. Ces livres nous apprennent plus sur la vie religieuse du temps que les édifices encore sur pied, qui, souvent privés de leurs peintures, statues ou sépultures par des siècles de pillages et de vandalisme, font l'effet de carcasses blanchies.

Si les livres liturgiques du Moyen Âge sont encore nombreux dans les bibliothèques, ce n'est pas pour avoir joui d'un

>> Pour en savoir plus :
Initiation : http://aedilis.irht.cnrs.fr/initiation-liturgie
Catalogue de manuscrits : http://www.cn-telma.fr/liturgie
Journées d'étude : http://aedilis.irht.cnrs.fr/liturgie

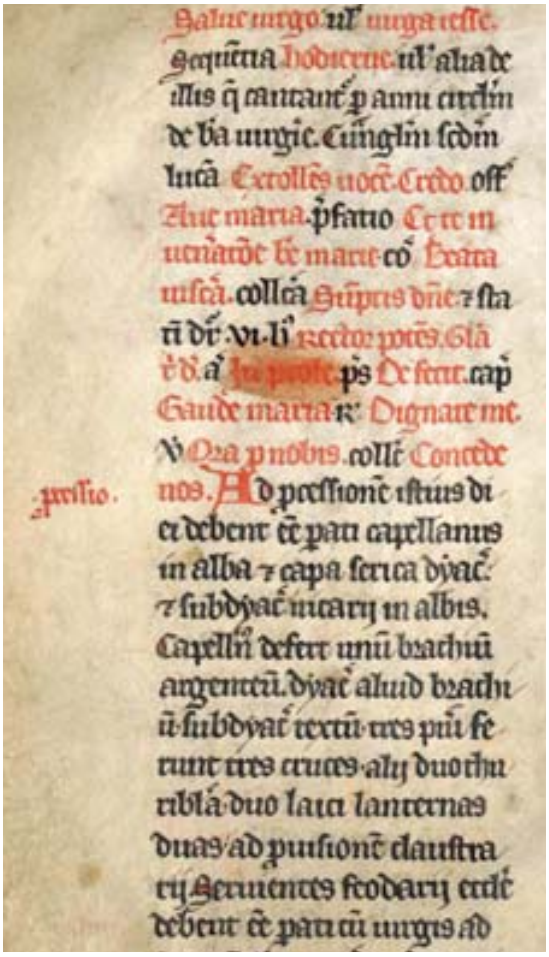
Dans ce calendrier, le jeu des couleurs suffit à mettre en valeur les fêtes majeures du mois de novembre (à l'encre bleue). Certaines sont caractéristiques de l'usage de Paris, comme celle de saint Gendulphe le 13 novembre.
Bréviaire à l'usage de Paris – Paris, 1391 – Paris, Bibl. Mazarine, ms. 341, f. 153

Le *Catalogue des ordinaires liturgiques conservés dans les bibliothèques publiques de France* (publication prévue en 2010), préparé par Pascal Collomb (EHESS-CRH), Olivier Legendre et Jean-Baptiste Lebigue (CNRS-IRHT), doit renouer avec l'œuvre lancée par le chanoine Leroquais : il comptera environ 250 notices détaillées, issues du dépouillement de quelques 750 manuscrits, sur la base d'une liste de cotes établie par Éric Palazzo (Université de Poitiers). Une partie des manuscrits écartés fait l'objet d'un catalogage plus succinct, édité en ligne *(Catalogue de manuscrits liturgiques médiévaux et modernes)* sur la plateforme de ressources numériques *Telma*, mise en place par l'IRHT et l'École nationale des chartes. Pour faciliter la compréhension de ces notices et, plus largement, des livres du culte au Moyen Âge, a été publiée, parmi les dossiers pédagogiques d'*Ædilis* (collection de publications en lignes de l'IRHT), une *Initiation aux manuscrits liturgiques*, étayée par le commentaire de 250 photographies de manuscrits et pourvue d'exercices pratiques.

soin spécial : les incessantes réformes du culte au fil des temps poussaient au contraire à s'en débarrasser sitôt obsolètes. Mais la part infime qui subsiste constitue encore un quart des fonds conservés. Son intérêt pour l'archéologie des manuscrits est majeur, car ces livres sont souvent, jusqu'à la fin du XII[e] siècle du moins, le fruit d'une production locale, facile à identifier et à dater d'après les particularismes locaux qui distinguent les usages liturgiques. Ils sont mieux connus en France qu'ailleurs grâce aux catalogues fondateurs du chanoine Victor Leroquais, où il a décrit sacramentaires et missels (1924), bréviaires (1934), pontificaux (1937) et psautiers (1940) conservés dans les bibliothèques publiques. Beaucoup néanmoins demeurent ignorés : collectaires, graduels, lectionnaires, antiphonaires, rituels ou autres, et surtout les ordinaires, dont l'intérêt sort du champ des seuls spécialistes de la liturgie ou du livre médiéval. ■

Contact :
Jean-Baptiste LEBIGUE
jean-baptiste.lebigue@cnrs-orleans.fr
Institut de recherche et d'histoire des textes - Orléans

Sur cette page est décrite la procession cambrésienne évoquée ci-contre. Ce manuscrit s'appelle un ordinaire : ce type de livre, qu'on ne copie plus après le XVIe siècle, rassemble les prescriptions nécessaires pour toute l'année liturgique dans une église donnée. Il fournit aussi, pour chaque jour, l'incipit (les premiers mots) des chants, des lectures et des oraisons : ce sont les passages écrits à l'encre rouge. Placé dans le chœur de l'église ou dans la sacristie, ce livre était consulté quotidiennement par les chanoines chargés de dire la messe ou de diriger l'office. Ils pouvaient ainsi retrouver les textes éparpillés dans les autres livres liturgiques (antiphonaires, collectaires, lectionnaires, etc.) servant au culte et se remettre en mémoire les cérémonies particulières liées à certaines solennités (sonneries de cloches, processions, couleur des ornements, repas, distributions de nourriture ou d'argent, etc.).



Ordinaire de Saint-Géry de Cambrai
Cambrai, après 1253 (3e quart du XIIIe s.)
Cambrai, Bibl. mun., ms. 202, f. 75v

L'édition de textes médiévaux anglais, une difficulté nécessaire

© IRHT-BU-SDBD

Version française du Roman de la Rose. Paris, Bibliothèque Sainte-Geneviève Ms. 1126, folios 003v 004.

Certains textes en anglais ancien n'ont jamais été édités, mais seulement recopiés. Pour d'autres, leur édition ne répond parfois plus aux exigences de la recherche actuelle. Une équipe de recherche du Centre d'Études Supérieures de Civilisation Médiévale (CESCM – CNRS/Université de Poitiers) se consacre à leur étude, leur édition et leur publication.

L'éditeur, s'il possède évidemment une très bonne connaissance de la langue dans laquelle le texte étudié a été rédigé (l'anglais médiéval dans le cas présent), doit également savoir se servir d'un certain nombre d'outils essentiels pluridisciplinaires. En tant que philologue, il s'intéresse aux questions de grammaire, de syntaxe, de langage idiomatique, etc. Ensuite, il doit aborder le travail d'un paléographe, c'est-à-dire étudier la composition matérielle d'un livre manuscrit. Cette considération fournit des informations précieuses sur la rédaction du texte. Avec les compétences nécessaires à la compréhension de ce texte, l'éditeur poursuivra son travail par une étude des habitudes des scribes. Il s'agit d'une étape qui facilite le jugement à porter sur la fiabilité du texte scribal, c'est-à-dire un texte qui a été recopié. Dans un tel cas (à l'opposé d'un texte établi directement par son auteur), des erreurs, voulues ou non, apparaîtront. Dans le langage traditionnel du travail d'édition, un texte scribal est donc un texte corrompu ; en outre, plus un texte est copié, plus il devient corrompu. Identifier et, le cas échéant, corriger ces erreurs relève de la responsabilité de l'éditeur. Ce constat mène inéluctablement à la question importante de la nature même d'un texte produit dans une culture manuscrite, avant l'arrivée de l'imprimerie dans la seconde moitié du quinzième siècle.

Un manque d'édition des textes médiévaux

La nécessité de continuer à éditer les textes médiévaux est au cour des préoccupations des littéraires et philologues du CESCM. Concernant la situation de l'anglais du Moyen-Âge, en dépit de l'existence de deux grands dictionnaires, le *Middle English Dictionary* (Université

de Michigan, 1952-2001) et le *Oxford English Dictionary* (2ème édition, 1989), les connaissances de l'évolution de la langue tout au long du Moyen-Âge restent incomplètes : le travail du laboratoire repose ainsi sur un corpus lacunaire, faute d'éditions. Il existe même des cas où les éditions déjà publiées à la fin du dix-neuvième et au début du vingtième siècle ne répondent plus aux exigences de la recherche actuelle et ont besoin, par conséquent, d'être refaites.

S'il est vrai que les compositions des grands auteurs (Chaucer, Gower, Langland, entre autres) ont fait l'objet d'études importantes, il reste beaucoup de textes, plus modestes, qui n'ont jamais bénéficié d'un traitement éditorial. Ils sont très majoritairement en prose et couvrent divers champs littéraires : textes scientifiques (médecine, chirurgie, recettes culinaires), chroniques nationales ainsi que civiques, sermons et traités de dévotion. S'ajoutent à ceux-là les romans, les récits d'imagination, pour lesquels aucune version manuscrite ne nous est parvenue, mais qui sont disponibles sous forme de livre imprimé : *Arthur of Little Britain, Sir Helyas, Knyght of the Swanne, Th'Ystorye of the VII Wyse Maysters of Rome, Lyfe of Robert the Devyll,* etc. C'est précisément dans ces domaines que les anglicistes du CESCM travaillent depuis déjà une dizaine d'années.

Le roman de la Rose : le français au XVe siècle

Les deux fac-similés manuscrits présentent le même passage d'un poème allégorique, le Roman de la Rose. Le premier est tiré d'un MS de la bibliothèque Ste. Geneviève à Paris ; le second provient du MS V. 3. 7. du musée Hunterian, situé à l'université de Glasgow, en Écosse. Tous deux datent du quinzième siècle.

Avant de les comparer, il faut préciser que celui du manuscrit parisien est une copie tardive d'un poème composé en français par un certain Guillaume de Lorris aux alentours de 1230-1240. De Guillaume, on ne connaît presque rien ; son existence même a été mise en cause par plus d'un spécialiste du moyen âge français. Celui du second manuscrit est une copie d'une traduction en moyen-anglais (env. 1150 à 1500) attribuée depuis fort longtemps à un poète londonien, Geoffrey Chaucer, dont l'existence réelle est avérée par le témoignage de presque cinq cents documents de l'époque.

La décision de traduire cette œuvre française en anglais souligne l'importance de certaines caractéristiques de la vie culturelle anglaise à la fin du moyen âge. Tout d'abord, l'influence très considérable sur la langue et la production littéraire anglaise du français : c'est en effet la France (avec l'Italie) qui définit la sensibilité culturelle de l'Europe occidentale pendant cette période. Ensuite, la fin du quatorzième et les débuts du quinzième siècle voient, en Angleterre, la perte progressive d'une langue – le français – qui avait joui du statut d'une deuxième langue vernaculaire parmi les classes nobles depuis le onzième siècle. Petit à petit, le français redevient, dans la société laïque anglaise, une langue dite étrangère, une langue à apprendre ; d'où la nécessité de traduire.

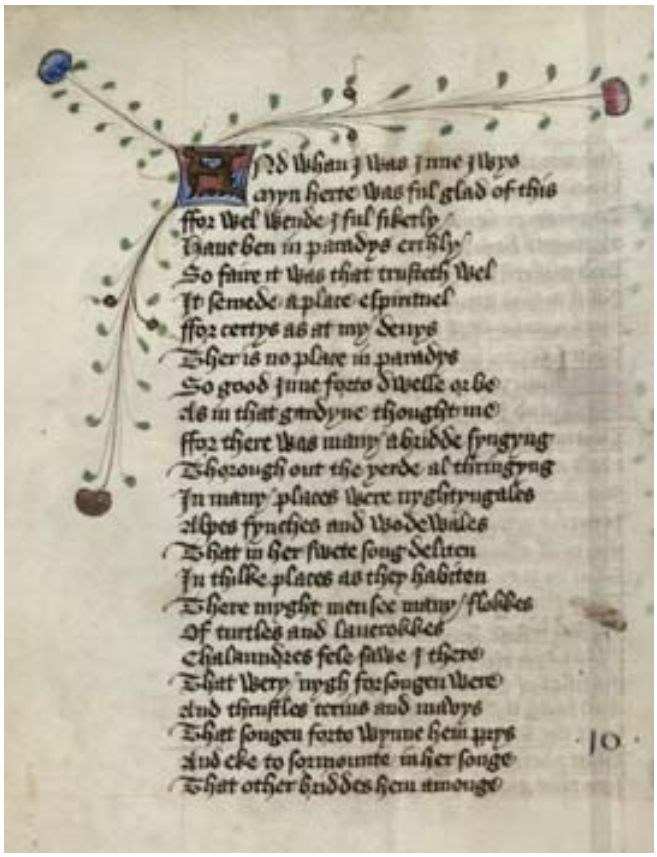
Les choix de traduction

Le passage bref du poème montre le travail d'un traducteur face à son modèle. La version anglaise (établie à la fin du quatorzième siècle) n'est pas du tout identique au texte original français. En début du passage, Guillaume fait référence au personnage Oiseuse (oisiveté), que Chaucer supprime, peut-être pour des raisons liées aux exigences prosodiques (les deux poètes composent en distiques rimés), alors qu'il le retient à d'autres endroits dans la narration. Encore, le catalogue d'oiseaux, au nombre de treize chez Guillaume, est réduit à dix dans la version anglaise, probablement pour la même raison technique qui vient d'être évoquée. Mais il est évident que, de façon générale, Chaucer tente de reproduire fidèlement le contenu et l'atmosphère de son modèle.

Le choix de Chaucer de traduire ce poème n'est pas difficile à comprendre. La forme allégorique, aujourd'hui si lointaine de nos attentes et de nos habitudes littéraires, continuait à attirer des lecteurs admiratifs. Il n'est guère possible, non plus, de surestimer l'influence exercée par le poème français sur la sensibilité littéraire tout au long de cette période. Chaucer, comme bien d'autres poètes, dans d'autres œuvres de sa production littéraire, s'est laissé librement inspiré par ce chef-d'œuvre poétique du Moyen Âge occidental. ■

Contact :
Stephen MORRISON
CESCM - Poitiers

Version anglaise du Roman de la Rose
Texte moyen-anglais, vv. 645 à 668 de l'édition de L. D. Benson et al. The Riverside Chaucer *(Boston, 1987)*



Les fossiles… moléculaires

La connaissance des environnements anciens est essentielle pour mettre en perspective l'évolution future du climat et des milieux. l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO) développe depuis plusieurs années une recherche innovante fondée sur la caractérisation des molécules fossilisées dans les séries sédimentaires pour retracer l'évolution passée des environnements continentaux, déterminer la variabilité naturelle du climat, la part imputable aux activités humaines et les moteurs de cette variabilité climatique.

© R. Zocatelli, Université Fédérale de Fluminense, Niteroi, Brésil

Lac Caçó (Nord-Est du Brésil). Les sédiments de ce lac contiennent plusieurs molécules originales dont l'évolution au cours du temps permet de retracer les changements de l'environnement.

Les sédiments lacustres ont archivé l'histoire des milieux continentaux au fur et à mesure de leur accumulation. Pour décrypter ces archives, la géochimie organique, discipline qui étudie ces molécules, est au carrefour des géosciences, des sciences de l'environnement, des sciences du vivant et de la chimie avec des passerelles ponctuelles vers les sciences humaines. Elle exige la maîtrise de compétences techniques (chromatographie en phase gazeuse, spectrométrie de masse) qui peuvent paraître exotiques pour un géologue mais sont classiques pour un chimiste.

Retracer les changements environnementaux

Certaines molécules sont dotées d'une structure originale, spécifique des voies de synthèse dont elles sont issues, et donc de leur organisme source. Lorsqu'elles sont détectées dans les sédiments, ces molécules attestent donc la présence de ces organismes source à proximité du lieu de sédimentation, au moment du dépôt du sédiment. Afin de retracer l'évolution des environnements tropicaux depuis 20000 ans, l'ISTO a étudié les sédiments du Lac Caçó, au Nord Est du Brésil. Une molécule originale, l'onocérane, est présente dans des couches sédimentaires correspondant aux périodes les plus sèches qu'ait connu cette région durant cette période, indiquant que la plante source de cette molécule est adaptée à la sécheresse. Une autre catégorie de fossiles moléculaires identifiée, des triterpènes pentacycliques, est principalement produite par des graminées. Ces molécules sont particulièrement abondantes dans les sédiments déposés entre 13000 et 10000 ans, période qui correspond effectivement au développement d'une savane à graminées dans la région.

Mesurer les variations naturelles du climat

Certaines molécules sont produites en proportions variables par leurs organismes source en réponse à la température de leur milieu de croissance. Lorsqu'elles sont préservées dans les archives sédimentaires, elles constituent ainsi des "paléothermomètres". L'application de ces paramètres moléculaires aux séries sédimentaires marines a permis des avancées significatives dans la connaissance de la variabilité des températures de surface de l'océan. Pour les lacs, ces nouveaux outils sont en cours de développement. Bien que des molécules d'intérêt aient été détectées dans des sédiments lacustres, leurs organismes source ne sont pas identifiés, ce qui exclut l'établissement de relations entre les proportions de molécules et la température.

Évolution des concentrations en miliacine (marqueur du millet cultivé) et en TTHC (triméthyle tétrahydrochrysène, marqueur d'érosion des sols) dans les sédiments du Lac du Bourget depuis 6 000 ans.

Barge de carottage sur le Lac du Bourget.

© F. Arnaud, EDYTEM, Chambéry

Discriminer l'impact de l'Homme et du climat sur les environnements

L'Homme est devenu un facteur essentiel de structuration des milieux naturels durant les derniers millénaires. Les impacts du développement des activités humaines sur les milieux naturels et leur chronologie restent néanmoins conjecturels. Par exemple, il demeure difficile d'attribuer un changement du couvert végétal aux activités humaines ou à un changement climatique. De même, l'origine climatique ou anthropique de l'érosion des sols est impossible à distinguer par la seule analyse de la fraction minérale du sédiment.

Dans l'optique de retracer l'évolution conjointe du climat et des sociétés humaines dans les Alpes depuis 10 000 ans, le laboratoire a analysé le contenu moléculaire des sédiments du Lac du Bourget. Ces sédiments recèlent une molécule originale, la miliacine, qui, dans ce cadre précis, est spécifique de *Panicum miliaceum*, une variété de millet importée dans les Alpes durant l'Age du Bronze pour y être cultivée.
La première apparition de la miliacine dans le sédiment est enregistrée vers 1 700 av. J.-C., ce qui semble en accord avec la chronologie de diffusion du millet en Europe établie à partir des restes de cette plante identifiés dans les sites archéologiques. Cette première apparition s'accompagne d'une augmentation des concentrations en molécules provenant de l'érosion des sols, tel que le TTHC. L'interprétation que nous faisons de cette brutale augmentation des apports des sols au sédiment est un changement des pratiques agricoles (labours plus profonds, jachères plus courtes), coïncidant avec le développement de la culture du millet. Les fortes concentrations en miliacine durant l'Age du Bronze témoignent d'une culture soutenue du millet à cette période. Ensuite, les concentrations en miliacine chutent à la transition Age du Bronze/Age du Fer. Cette chute indique la réduction, voire l'abandon, de la culture du millet sur les bords du lac du Bourget. Cet abandon est illustré par d'autres études qui montrent qu'une dégradation climatique à la transition Age du Bronze/Age du Fer a eu pour effet l'élévation du niveau du lac et l'abandon des habitats périlacustres par les populations. Grâce à la miliacine et au TTHC, il est ainsi pour la première fois possible de retracer en continu l'évolution d'une activité humaine (la culture du millet) et ses impacts sur l'érosion des sols.

Mieux connaître le présent pour comprendre le passé

Ces quelques exemples illustrent l'intérêt des molécules fossiles pour reconstituer les changements qui ont affecté les systèmes continentaux par le passé. Malgré l'intérêt de ce type d'approche, l'utilisation des fossiles moléculaires demeure encore marginale. Il reste en effet un certains nombres de points à éclaircir. L'utilisation plus efficace des molécules fossiles doit s'appuyer sur une meilleure connaissance de la distribution des molécules organiques dans le monde vivant actuel. Il sera ainsi plus aisé de relier un fossile moléculaire à l'organisme qui l'a produit. Il faut également mieux cerner les relations entre distribution de molécules et facteurs environnementaux. Enfin, et au même titre que des fossiles plus classiques, il est nécessaire de comprendre les mécanismes de transport (depuis l'organisme source jusqu'au sédiment) et de fossilisation de ces molécules. Ces informations permettront de mieux comprendre comment ces molécules fossiles sont représentatives du milieu dans lequel elles ont été produites. ■

Contact : Jérémy JACOB
jeremy.jacob@univ-orleans.fr

© C. LÉGER

La chouette chevêche (Athene noctua) : elle est le symbole de la Déesse Athéna et on retrouve encore aujourd'hui cette petite chouette sur les pièces de 1 € grec.

4 000 nichoirs dans la plaine

Lancé en septembre 2007, un programme de recherche en écologie unique en Europe a été mis en place sur 27 communes de la plaine céréalière au sud de Niort, dans les Deux-Sèvres. Cette opération « Des nichoirs dans la plaine » est un projet d'éducation à l'environnement et à la préservation de la biodiversité auprès des populations. Il est le fruit d'une collaboration entre le Centre d'Études Biologiques de Chizé, (CEBC - unité propre du CNRS), l'Institut de formation et de recherche en éducation à l'environnement (Ifrée) et Zoodyssée, parc animalier en forêt de Chizé.

Sous l'effet de la Politique Agricole Commune (PAC), les paysages ruraux ont considérablement évolué aussi bien dans leur dimension sociale et économique qu'environnementale. Aujourd'hui les enjeux liés à la biodiversité dans les milieux agricoles sont de première importance. Toutefois, dans ce paysage changeant, les villages et leurs réseaux routiers ont été globalement peu modifiés. La biodiversité, dans et autour des villages, constitue un indicateur pertinent du développement durable d'un territoire.

Deux objectifs : scientifique et éducatif

Autour de la mise en place de 4 000 nichoirs répartis sur le territoire d'étude du CEBC (500 km^2), ce projet vise à atteindre deux objectifs complémentaires qui vont dans le sens de la préservation de la biodiversité :

L'étude scientifique porte sur 3 espèces d'oiseaux

- la huppe fasciée *(Upupa epops)* : un des plus beau visiteur de notre jardin, la huppe capture la majorité de ses proies au sol (coléoptères, sauterelles, araignées…) grâce à son long bec mince et recourbé de 5-6 cm.
- la chouette chevêche niche dans des trous dans les arbres fruitiers ou dans les arbres taillés en têtards mais aussi dans les bâtiments inhabités. Elle a une prédilection pour les sites en pierre, vieilles bergeries, murs et tas de pierre mais peut parfois nicher dans un terrier de lapin ou de renard.
- le hibou petit-duc *(Otus scops)* : insectivore, ce petit rapace nocturne arrive chaque année en avril et doit trouver un nouveau territoire et un nouveau partenaire sexuel. Il repart en septembre en un seul vol vers l'Afrique tropicale au sud du Sahara.

Leurs populations sont en régression dans toute l'Europe. Ces trois espèces ont la même écologie (se reproduisent dans les villages, nichent dans des cavités de mur ou d'arbre, se nourrissent d'insectes) et leur statut de conserva-

© Christian BAVOUX

Petit duc dans son nichoir.

© V. BRÉTAGNOLLE

La huppe fasciée

tion apparaît défavorable en Europe et en France. Ces trois espèces emblématiques des villages que les habitants connaissent bien, enregistrent une diminution de leurs effectifs depuis les années 1950 mais les données quantifiées sont ou très localisées ou insuffisantes. Le petit duc est devenu rare au-dessus de la Loire où il nichait autrefois, en Normandie, en Île de France, en Alsace, en Picardie et en Champagne. Même si les données sont peu fiables, les tendances sont avérées. Les mécanismes expliquant la régression de ces populations ne sont pas entièrement précisés. Certains incriminent la diminution des insectes, leur ressource alimentaire.

Le programme « Des nichoirs dans la plaine » tend plutôt à tester l'hypothèse des scientifiques du CEBC selon laquelle, sur ce territoire, la population de ces espèces est limitée par le nombre de cavités pouvant servir à la reproduction ; ainsi l'augmentation du nombre de cavités (artificielles - les nichoirs) devrait augmenter la reproduction.

L'objectif de cette opération est également éducatif. Un projet pédagogique a été créé par Zoodyssée avec les écoles primaires et les citoyens ruraux (adultes et enfants). Ils ont été sensibilisés au rôle qu'ils ont à jouer pour la conservation de la biodiversité dans et autour de leur village.

La mobilisation de la population

L'idée est d'impliquer la population et plus particulièrement les enfants, ambassadeurs de demain pour la conservation de la biodiversité : ainsi les écoles servent de points d'ancrage afin de toucher l'ensemble des habitants. Ce projet, qui se déroule sur 3 ans, mobilise les 23 écoles primaires de la zone d'étude. Le 26 juin 2008, une rencontre interclasse a été organisée à Zoodyssée pour permettre aux 500 enfants impliqués cette année de partager et échanger sur leurs réalisations faites en classe. Au cours de la deuxième édition nationale de la Fête de la nature, mais également lors des réunions publiques d'information organisées chaque automne ou par affiche et voie de presse dans tous les villages de la plaine, les habitants sont sollicités par le CEBC, Zoodyssée et l'Ifrée pour « parrainer » un nichoir. Ainsi tout habitant de la plaine du sud de Niort peut accueillir gratuitement un nichoir dans son jardin et participer ainsi au projet.

Au cours de sorties nocturnes, en quête de signes de présence de chouettes chevêches et de hiboux petit duc, les habitants ont eu le plaisir de découvrir les cris de ces espèces emblématiques qui peuplent leurs villages, et même de les voir à la lumière du crépuscule. Les écoles ont vraiment joué tout leur rôle dans l'implication de la population car ce sont dans ces mêmes communes que le plus grand nombre de nichoirs a

Réunion publique d'information pour les habitants.

© Équipe pédagogique Zoodyssée

Un hibou petit duc

© J. Auger

été installé. Ainsi, 700 nichoirs sont d'ores et déjà posés dans les villages de la plaine.

Les outils de valorisation du projet

Un site Internet présente le projet dans sa globalité avec, entre autres, les réalisations des écoles, l'état d'avancement de la pose des nichoirs… Ce site permet aussi aux écoles et aux propriétaires des nichoirs de saisir leurs observations pour les transmettre aux scientifiques, mais aussi de disposer de ressources éducatives et d'échanger sur leur projet.

Un film documentaire est également réalisé chaque année par trois étudiants en 2ème année de Master "Réalisation de Documentaire option Cinéma Animalier" de l'Institut Français de Formation au Cinéma Animalier de Ménigoute (IFFCAM) pour présenter et valoriser la démarche de sensibilisation des habitants mise en œuvre sur le projet.

Des fiches pédagogiques d'aide à la préparation de séances et séquences en classe à destination des animateurs et des enseignants ont été réalisées en partenariat avec les enseignants des années 2007-2008 impliqués dans le projet. Ces fiches pédagogiques seront intégrées à un CD-Rom.

Un CD-Rom sera réalisé au bout des trois ans du projet et aura pour objectif de valoriser l'expérience de la mise en œuvre de ce projet sur trois entrées :

- ce qui a fait que ce projet a fonctionné : son montage, ses partenariats, son suivi…
- ce qui a été réalisé par les écoles tout au long des trois ans du projet : exposition, jeux, comptines, dessins, expériences…
- ce qui a été réalisé ou collecté par les porteurs de projet pour la sensibilisation des habitants et des élèves : power point, jeux, bibliographie, exposition…

Sylvie Houte du CEBC intervient une fois dans chaque classe en début d'année pour présenter la démarche scientifique du projet et s'assurer que les enfants comprennent bien pour quelle raison ils vont poser autant de nichoirs.

© Ph. Wall

Des écoles déjà volontaires pour 2009

Le bilan de cette première année 2008 est prometteur. Sept nouvelles écoles du secteur d'étude se sont déjà inscrites pour adopter ce projet en activités pédagogiques dès la rentrée prochaine. Les nichoirs étant rarement occupés dès la première année, les premiers occupants sont attendus avec impatience au printemps 2009 dès le retour de migration du hibou petit-duc et de la huppe fasciée. Quand à la chouette chevêche, sédentaire, elle pourra choisir un nichoir à son goût dès cet hiver en attendant mars la saison des amours.

Contact :
Sylvie HOUTE
houte@cebc.cnrs.fr

Une rencontre entre l'équipe pédagogique de Zoodyssée et le directeur de l'Institut médico-éducatif de Melle est à l'origine de l'implication de jeunes dans le projet. Les enseignants et les éducateurs de l'IME ont alors travaillé avec plusieurs classes sur un projet pédagogique autour de la conservation des trois espèces d'oiseaux concernées (biologie, chaine alimentaire, comportement). Les adolescents, très impliqués dans un atelier bois, ont proposé de participer à l'opération « Des nichoirs dans la plaine » en fabriquant plusieurs centaines de nichoirs. Leur enseignant a pu aborder avec eux les notions de volume, surface, périmètre et circonférence indispensables à la construction de nichoirs dont la forme et l'ouverture sont spécifiques de l'espèce cible. C'est avec fierté qu'ils ont présenté leur travail le 26 juin 2008 lors de la journée de rencontre entre toutes les classes impliquées. Une partie de la fabrication des nichoirs a également été confiée à un chantier d'insertion du Conseil Général des Deux-Sèvres, basé à Zoodyssée.

Des partenaires d'envergure

Plusieurs partenaires sont très impliqués dont deux grandes fondations d'envergure nationale liées à la protection de l'environnement : La Fondation Nicolas Hulot, La Fondation Nature et Découverte et le Conseil Général des Deux-Sèvres, la MAIF, le Conseil Régional, l'Europe, le CNRS, avec la contribution de l'Inspection Académique des Deux-Sèvres, réseau d'écoles, IMPro de Melle, DAAC, conseillers pédagogiques, l'IFFCAM, le CRDP et le CDDP 79, le chantier d'insertion du Conseil Général 79.

Oh punaise !

Les insectes tuent plus d'êtres humains que toutes les guerres réunies, car beaucoup d'entre eux constituent des vecteurs de parasites responsables de maladies dévastatrices. Il n'existe pas de vaccins efficaces contre un bon nombre de ces maladies. Leur contrôle est donc associé, en grande partie, à la lutte contre leurs insectes vecteurs.

La peste noire transmise par les puces a causé 25 millions de décès au cours du XIVe siècle, c'est-à-dire, entre un quart et un tiers de la population européenne de l'époque.
Le typhus et la fièvre des tranchées transmises par les poux ont provoqué 3 millions de morts pendant la seconde guerre mondiale.
Chaque année les trypanosomiases africaines humaines transmises par la mouche tsé-tsé touchent environ 500 000 personnes et 600 000 nouveaux cas et 80 000 décès sont dus aux leishmanioses. 2,4 milliards de personnes sont exposées à la malaria ou paludisme transmis par certaines espèces de moustiques. Chaque année, 300 à 500 millions de nouveaux cas sont estimés et 1,5 à 3 millions de morts par an.
À cette liste il faut ajouter le Chikungunya, la fièvre jaune, la dengue, la filariose, la maladie de Chagas et d'autres.

Les insectes hématophages, vecteurs de maladies

L'impact des insectes sur la santé humaine est dû à l'association établie d'une part avec des organismes parasites (virus, bactéries, protozoaires, vers), et d'autre part avec des animaux vertébrés… dont l'Homme.
Certains insectes ont adopté un mode de vie en association étroite avec ces animaux, en se nourrissant de leur sang et ont pour cela développé une série d'adaptations morphologiques, physiologiques et comportementales.
Malgré des caractéristiques propres à chaque espèce, tous les insectes hématophages sont confrontés à une même difficulté : localiser les vaisseaux sanguins. Ils ont mis au point des stratégies similaires pour localiser leurs proies. L'étude de ces stratégies constitue un aspect fondamental de l'entomologie médicale, visant à contrôler la transmission de parasites par ces insectes hématophages.

Un modèle d'étude : les punaises triatomines

Les punaises triatomines se sont révélées être de bons modèles d'insectes hématophages vecteurs de maladies : elles peuvent être élevées dans le laboratoire avec une relative facilité. Leur taille, plus grande que celle de la plupart des autres insectes hématophages, permet leur manipulation et l'expérimentation avec des moyens simples. Leur déplacement majoritairement par la marche en deux dimensions facilite l'analyse détaillée de leurs comportements vis-à-vis des stimuli différents, mesure qui s'avère plus compliquée à réaliser pour les insectes volants. Enfin, leur développement graduel permet le suivi des individus pendant plusieurs mois de leur vie à alimentation strictement hématophage.

Plusieurs millions de personnes atteintes par la maladie de Chagas

Ces insectes sont vecteurs de la maladie

Cycle de vie d'une punaise hématophage

© Claudio Lazzari

Maison rurale du nord-est brésilien, bâtie principalement avec de la boue et des matériaux végétaux. Ce type de construction simple s'avère idéal pour l'installation de colonies domestiques de punaises à cause du grand nombre d'abris potentiels.

de Chagas, une infection parasite chronique causée par le protozoaire Trypanosoma cruzi. Chez 20 % à 30 % des individus infectés, la maladie aboutit à une cardiopathie sévère et/ou megaoesophagus/megacolon. Elle est une menace pour environ 28 millions de personnes, vivant surtout en Amérique Latine où la maladie est responsable de 670000 DALY par an (somme des années de vie perdues à cause de la mortalité prématurée et d'incapacité due à une mauvaise santé dans la population). Aucun vaccin n'est efficace. Le contrôle de la transmission de la maladie de Chagas est basé sur la lutte contre les vecteurs, le dépistage systématique de donneurs de sang dans tous les pays endémiques, la détection et le traitement de transmission congénitale et le traitement d'enfants infectés et des cas aigus. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, dans 21 pays où la maladie est endémique, le nombre de personnes infectées est aujourd'hui évalué à plus de 7,6 millions. Cette maladie est aussi une zoonose complexe et le grand nombre de réservoirs vertébrés et d'insectes triatomines participant à la transmission, rend l'éradication de la maladie extrêmement difficile.

À la recherche d'un nouvel habitat

Une partie des espèces du groupe (qui en compte environ 130) est capable de coloniser l'habitat de l'homme. Elles se sont adaptées pour cohabiter avec leurs hôtes vertébrés, c'est-à-dire, à partager leurs habitats, y compris la maison humaine.

À la nuit tombée, ces insectes se dispersent de leurs refuges sauvages en se dirigeant vers les sources de lumière artificielle des maisons. Ils recherchent des abris protégés, des crevasses dans les murs de boue ou le matériau végétal de la toiture, qui constituent les éléments de construction utilisés dans les régions rurales de l'Amérique du Sud et Centrale.

Une forte sensibilité aux odeurs…

En journée, les punaises restent immobiles dans leurs refuges. Au début de la nuit, lorsque les habitants de la maison dorment, elles sortent à la recherche de sang. Comme d'autres insectes suceurs de sang, la recherche de l'hôte sera guidée dans un premier temps par des signaux chimiques issus du corps de l'hôte, dont le dioxyde de carbone dégagé par la respiration et un grand nombre de substances volatiles, telles que des acides gras à courte chaîne, des cétones, etc. La détection du CO_2 déclenche chez ces insectes une tendance à se déplacer face aux courants d'air porteurs d'odeurs. Récemment les chercheurs ont découvert que la sensibilité des punaises au CO_2 augmente de presque trois fois lorsque ce gaz est accompagné par de l'acide lactique, une substance libérée par la peau qui, présentée seule, ne provoque aucune réponse des insectes. En fait, un mélange approprié d'acide lactique, d'acides gras et d'une petite quantité de CO_2 peut être aussi attractif pour les punaises qu'un hôte vivant, même si, individuellement, aucun composant de ce mélange ne s'avère attractif.

… et à la chaleur…

Une fois guidées à proximité d'un hôte potentiel par ces repères chimiques, c'est la chaleur qui prend le relais. Les triatomines font preuve d'un sens thermique hautement développé. Elles ont une des plus grandes sensibilités connues à l'heure actuelle dans le règne animal et la capacité de percevoir la radiation infrarouge émise par des objets dont la température est plus élevée que celle de leur environnement.

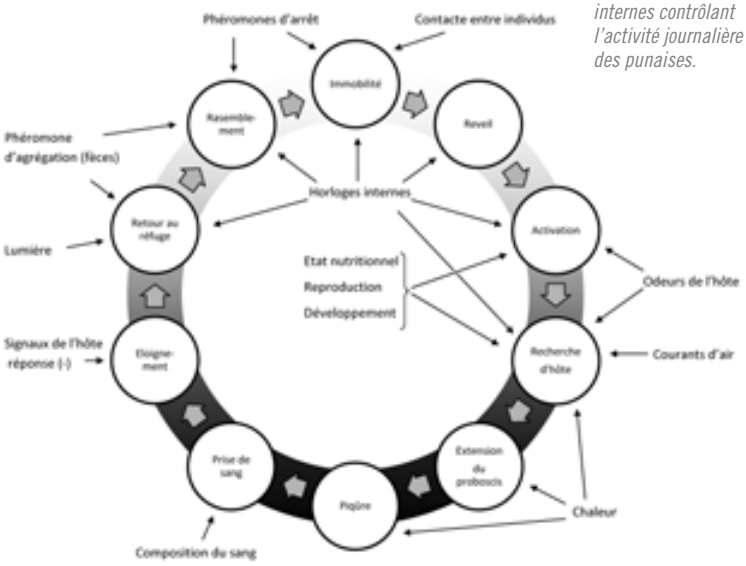
La chaleur constitue pour les triatomines le seul signal à la fois nécessaire et

© Aurélie BODIN

Grâce à un changement des propriétés mécaniques de la cuticule de son abdomen, une larve de triatomine est capable de manger à chaque repas, une quantité de sang faisant plusieurs fois son propre poids corporel.

suffisant pour déclencher le comportement de piqûre. La première manifestation est l'extension du proboscis, ou trompe de l'insecte, qui porte les organes de perçage de la peau et de l'ingestion. Mais piquer au hasard la peau de l'hôte s'avère une mauvaise stratégie pour trouver un vaisseau sanguin de calibre suffisant où il faudrait introduire les pièces buccales en forme de fines aiguilles. En effet, la piqûre peut perturber l'animal ou la personne endormie, dont la réaction risque dans le meilleur des cas d'empêcher l'insecte de s'alimenter et, au pire, de le tuer. La surface de la peau présente des discontinuités thermiques issues de la proximité ou pas des vaisseaux sanguins. Les insectes seraient capables de localiser ces zones plus chaudes pour diriger leur proboscis vers un vaisseau sanguin.

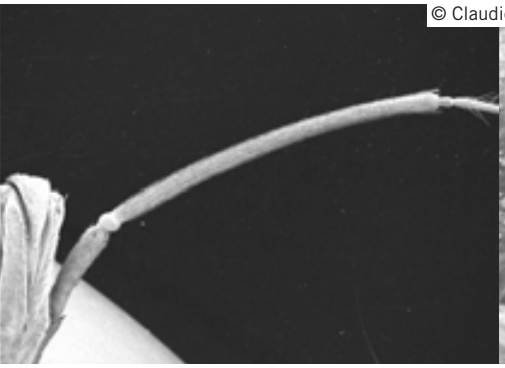
Le mécanisme pour une telle précision est la comparaison de la mesure de température fait par l'antenne gauche et de l'antenne droite. Lorsque ces deux températures sont identiques et plus élevées que la peau environnante, l'animal sait qu'il a trouvé un vaisseau sanguin.



Facteurs externes et internes contrôlant l'activité journalière des punaises.

...mais seulement au bon moment

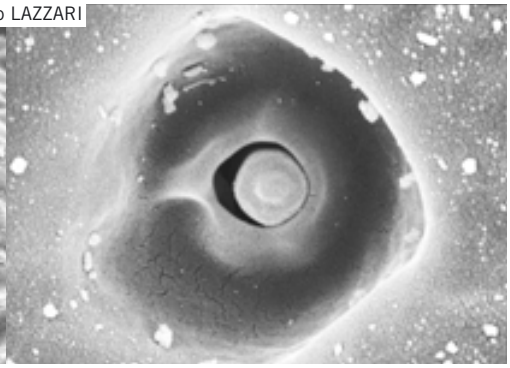
Un autre aspect intéressant récemment dévoilé chez ces insectes, c'est la manière dont leur sensibilité aux signaux de l'hôte est modulée. Divers facteurs affectent la réponse aux stimuli chimiques des punaises, et très probablement aussi celle d'autres insectes hématophages. Les horloges circadiennes internes, l'état nutritionnel, le cycle de mue et la reproduction affectent fortement la manière dont les punaises réagissent à la présence d'un hôte potentiel. Ainsi, une même odeur peut être attractive à un moment donné et répulsive dans un autre. Autrement dit, une odeur peut guider l'insecte vers son hôte



© Claudio LAZZARI

Les antennes filiformes des punaises constituent les organes principaux pour la détection d'une source de nourriture. Elles portent sur leur surface une énorme quantité de petits poils sensibles à la chaleur, aux odeurs et d'autres stimuli.

Récepteur olfactif. Ces structures de forme allongée sont nombreuses sur les antennes des punaises. Des petits pores en surface permettent aux molécules volatiles de traverser sa paroie pour stimuler des cellules sensorielles que se trouvent à l'intérieur. Ces cellules réceptrices vont reconnaître de manière spécifique la nature chimique de la molécule et identifier s'il s'agit d'un odeur émise par la respiration ou la peau d'un hôte.



© Claudio LAZZARI

Récepteur de chaleur. Cette petite structure, de 2-3 millièmes de millimètre seulement, présente en grand nombre dans les antennes et d'autres parties du corps des punaises, est responsable de la sensibilité à la chaleur des punaises.

pour qu'il se nourrisse et, après avoir mangé, la même substance peut l'éloigner de sa source de nourriture qui risque de devenir un prédateur potentiel.

La réaction des insectes hématophages face à un hôte vertébré n'est donc pas toujours identique, mais variable. La connaissance de cette variation, de son contrôle physiologique, devient indispensable pour l'étude du comportement d'autres insectes, pour leur piégeage sur le terrain et également pour l'application de pesticides. La capture des insectes est simplifiée, en utilisant des mélanges de composants chimiques simples en combinaison adéquate. Mais la chaleur tenant un rôle fondamental dans le processus alimentaire, son utilisation comme facteur attractif supplémentaire dans des pièges pourrait être envisagée. ■

Contact:
Claudio R. LAZZARI
Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte,
Université François Rabelais
claudio.lazzari@univ-tours.fr

© Aurélie BODIN

Larves de punaises essayant de piquer à travers la paroi d'un récipient plastique. La chaleur émise par les doigts est rapidement perçue par les insectes qui étirent leurs trompes en direction de la peau de l'expérimentateur.

Réparation des lésions du cerveau par greffe

Une partie de l'équipe qui a réalisé ces travaux, de gauche à droite : Afsaneh Gaillard, Laetitia Prestoz, Mohamed Jaber, Anne Cantereau, Frank Morel.

Il est possible de greffer des cellules au sein du cerveau adulte de rongeurs et ainsi de réparer les structures et voies nerveuses lésées. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives thérapeutiques dans le cadre de maladies neurodégénératives, telles que les maladies de Parkinson, d'Huntington ou d'Alzheimer. Cette étude a été menée par l'équipe de Neurosciences au sein de l'Institut de Physiologie et Biologie Cellulaires (CNRS / Université de Poitiers), en collaboration avec le Laboratoire de mouvement adaptation cognition (CNRS / Université de Bordeaux 2) et le Laboratoire immunologie et interactions moléculaires (Université de Poitiers).

La perte des neurones du cortex cérébral est une caractéristique commune de nombreuses conditions neuropathologiques telles que les lésions (traumatiques, vasculaires…) ou les maladies neurodégénératives (sclérose latérale amyotrophique, maladies de Huntington, d'Alzheimer…). La dégénérescence des fibres nerveuses suite à ces lésions est à l'origine des troubles de la motricité.

Transplanter des neurones

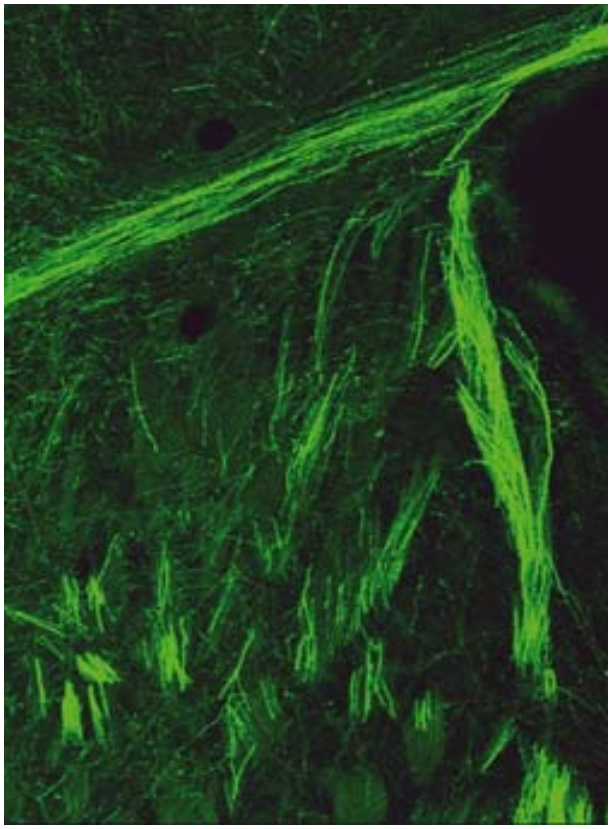
Des travaux sont menés depuis quelques années dans le domaine de la neurotransplantation. Cette procédure présente un fort potentiel thérapeutique. Néanmoins, plusieurs obstacles, d'ordre logistique mais aussi éthique, freinent son application à grande échelle. À titre d'exemple, la transplantation intracérébrale de cellules embryonnaires est pratiquée dans certaines formes de la maladie de Parkinson, mais avec un succès mitigé. Des chercheurs poitevins ont alors émis l'hypothèse que l'une des raisons de ces échecs est la localisation du transplant. Celui-ci est généralement placé, non pas au sein de la structure lésée, mais dans la structure cible normalement contactée par les fibres nerveuses des cellules lésées. En effet, les neurones émettent des fibres, appelés axones, vers de nombreuses structures cibles au sein du cerveau formant ainsi des boucles de régulation très complexe. Le dogme était que dans le cerveau adulte, les neurones transplantés seraient incapables d'émettre ces fibres et, de fait, que la transplantation devrait se faire dans les structures cibles des neurones et non dans les structures lésées. Ceci, bien entendu, ne permet pas de rétablir une circuiterie normale et est probablement à l'origine d'effets secondaires et de certains échecs liés à la transplantation.

Des neurones fluorescents

Les chercheurs poitevins ont cependant obtenu des résultats expérimentaux suggérant que le cerveau adulte est bien plus permissif à la repousse axonale des cellules transplantées que ne le laissait supposer les résultats d'autres équipes. Ils ont transplanté des cellules nerveuses embryonnaires issues de souris transgéniques exprimant une protéine fluorescente, la *green fluorescent protein* (GFP), au sein du cortex moteur préalablement lésé d'autres souris. L'utilisation de souris transgéniques dont les cellules expriment la GFP permet de distinguer le greffon (qui devient vert fluorescent) dans l'hôte et de suivre les connexions des neurones transplantés au niveau de leurs cibles. Avec cette nouvelle approche expérimentale, les chercheurs ont ainsi montré que des neurones embryonnaires issus du cortex moteur et transplantés à l'endroit de la région lésée, développent des projections axonales vers les cellules cibles normales, y compris à très longue distance. De plus, ces neurones embryonnaires sont bien intégrés dans les circuits neuronaux de l'hôte.

Souris verte fluorescente utilisée pour greffer des cellules dans le cerveau lésé d'une souris normale. Ainsi, le greffon vert (les cellules et projections de fibres) peut être distingué de l'hôte normal.

Fibres vertes du greffon dans le cerveau lésé de l'hôte. Ces fibres traversent les bonnes voies au sein de l'hôte et innervent correctement les structures cibles.



De nouvelles perspectives thérapeutiques

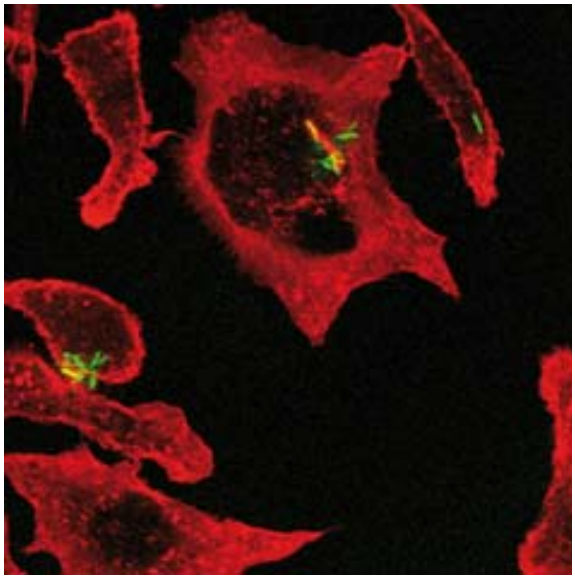
Ces résultats expérimentaux montrent pour la première fois que le système nerveux central adulte permet la repousse axonale ; des neurones embryonnaires transplantés sont capables d'étendre leurs prolongements vers les cellules cibles appropriées. Ainsi, la reconstruction de voies nerveuses centrales lésées devient alors envisageable. À plus long terme, les neurones ainsi générés artificiellement pourraient être utilisés dans la perspective de thérapies de remplacement cellulaire (par greffes intra-cérébrales) de maladies touchant le cortex, notamment les accidents vasculaires cérébraux et les atteintes dégénératives ou traumatiques des neurones corticaux.

Ces travaux ont eu un excellent accueil dans la communauté scientifique ; ils ont été publiés dans un journal scientifique prestigieux, Nature Neurosciences. La publication a reçu la distinction de « meilleure publication française en neurosciences » pour l'année 2007 par la société française de neurosciences qui compte plus de 3 500 membres. Ce projet de recherche mené par le laboratoire est soutenu depuis trois ans par la Fondation de l'Avenir et a dernièrement reçu le soutien financier de la Fondation de France. Ces organismes privés et indépendants aident à concrétiser des projets à caractère philanthropique, éducatif, scientifique, social ou culturel grâce aux dons et aux actions de mécénats. De plus, ce projet est au centre du CPER « vieillissement-Handicap », et s'inscrit parfaitement dans la politique scientifique régionale. ■

Contact :
Mohamed JABER
mohamed.jaber@univ-poitiers.fr

Les bactéries
sources de médicaments

Certaines bactéries produisent des molécules qui bloquent le système immunitaire de l'hôte. Celles-ci peuvent être source de nouveaux médicaments, tels que des molécules immunosuppressives. Ces études sont le fruit d'une collaboration entre recherche sur les mycobactéries responsables de la tuberculose et recherche en chimie des glycolipides.



Macrophage (en rouge) infecté par des mycobactéries (en vert) ; échelle = 8 µm.

Les mycobactéries responsables de la tuberculose ont la propriété de rester silencieuses pendant des années chez l'homme, en déjouant la surveillance du système immunitaire. Le laboratoire Immunologie et Embryologie Moléculaires (IEM – UMR6218 CNRS/Université d'Orléans) s'intéresse depuis 2002 aux molécules produites par les mycobactéries susceptibles de moduler les réponses de l'hôte. Partant de molécules complexes, le laboratoire a identifié en 2006 des glycolipides de faible poids moléculaire aux propriétés anti-inflammatoires très intéressantes. La collaboration avec une équipe de l'Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA – UMR6005 CNRS/Université d'Orléans), spécialiste de la synthèse des glycolipides, a permis de préparer ces molécules ainsi que plusieurs nouveaux analogues. L'activité anti-inflammatoire de ces molécules a été confirmée, améliorée, et démontrée dans un modèle d'inflammation pulmonaire *in vivo*. Deux brevets ont été déposés et l'étude des mécanismes d'action moléculaires est déjà bien avancée.

La tuberculose : des bactéries qui veillent

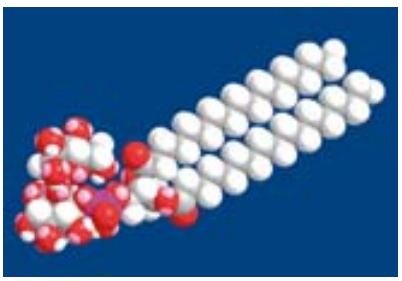
L'OMS estime qu'un tiers de l'humanité est infecté par *Mycobacterium tuberculosis*, l'agent de la tuberculose. L'infection est contrôlée et reste silencieuse chez 90 % des individus. Cependant l'infection n'est pas éradiquée, et la mycobactérie survit, parfois pendant des dizaines d'années, en déjouant la surveillance du système immunitaire. Le laboratoire IEM s'intéresse aux interactions entre la mycobactérie et son hôte à l'échelle moléculaire, et les mécanismes immunitaires qui en résultent. Ces connaissances sont essentielles pour développer un vaccin ou un traitement efficace contre la tuberculose latente.

Les lymphocytes T et les macrophages (des cellules sanguines) jouent un rôle majeur dans la réponse inflammatoire, notamment en produisant des « hormones » comme l'interféron gamma, l'interleukine (IL-) 12, ou la cytokine TNF (*tumor necrosis factor*) qui sont essentiels au contrôle de l'infection.

Les microbes comme sources de nouveaux médicaments

Les micro-organismes produisent des molécules qui peuvent modifier la réponse immunitaire. L'utilisation de molécules immunomodulatrices d'origine microbienne à des fins thérapeutiques est en plein essor, avec un accent particulier sur les protéines. Les glycolipides (association de sucres et de lipides) produits par les micro-organismes ont aussi un très fort potentiel thérapeutique mais leur développement est limité par leur structure complexe, difficile à synthétiser.

Mycobacterium tuberculosis produit plusieurs glycolipides modulant les réponses immunitaires. Le laboratoire IEM s'est intéressé aux propriétés de molécules glycolipides très complexes de la paroi des mycobactéries, les lipoarabinomannanes (LAM) et leurs précurseurs, les lipomannanes (LM), pour ensuite étudier d'autres molécules, plus petites et plus simples en structure, qui ancrent les LAM et les LM dans la paroi bactérienne. L'isolation de celles-ci a permis de mettre en évidence les propriétés anti-inflammatoires de certaines d'entre elles. Ce travail a fait l'objet d'un brevet en 2006. Les inhibiteurs d'IL-12 et TNF de cette classe sont novateurs. En effet, les médicaments actuellement utilisés pour moduler ces cytokines pro-inflammatoires sont principalement des stéroïdes ou des protéines bloquant le TNF. Les indications



Structure moléculaire d'une molécule immunosuppressive issue de la paroi des mycobactéries

thérapeutiques incluent les maladies inflammatoires chroniques sévères telles que la polyarthrite rhumatoïde, la maladie de Crohn ou le psoriasis.

De nouvelles molécules

L'étape suivante était de synthétiser certaines de ces molécules et des analogues, afin de vérifier l'activité intrinsèque des molécules naturelles, de préparer des quantités de matériel suffisantes pour approfondir la caractérisation de l'activité biologique et de réaliser une étude de relations structure-activité.

Les savoir-faire requis étaient disponibles à Orléans : L'équipe de Glycomimétiques et Produits Naturels de l'ICOA ayant une forte expérience dans le domaine de la synthèse de phospholipopeptides et de phosphoglycolipides et de leur valorisation ; L'équipe Relations Hôte-Pathogène de l'IEM ayant l'expérience de la caractérisation biologique d'immunomodulateurs et tous les modèles biologiques en place pour réaliser les tests d'activité *in vitro* et *in vivo*. La synthèse des premières molécules et les tests d'efficacité ont pu être mis en place rapidement.

Après avoir réalisé la synthèse de molécules identiques aux produits naturels qui reproduisent leurs propriétés anti-inflammatoires, de nouvelles molécules analogues ont été préparées pour simplifier les synthèses chimiques. Le premier exemple de cette nouvelle famille s'est avéré encore plus actif que les molécules naturelles ou synthétiques testées jusqu'alors.

Après une série d'essais des nouvelles molécules montrant leur inhibition de la production de cytokines et leur absence de toxicité sur des cellules *in vitro*, leur activité *in vivo* a été testée. Pour ce faire, l'expérience de l'IEM dans les modèles de réponses inflammatoires et d'asthme a été mise à profit. Une première indication d'inhibition *in vivo* a été obtenue dans un modèle d'inflammation pulmonaire.

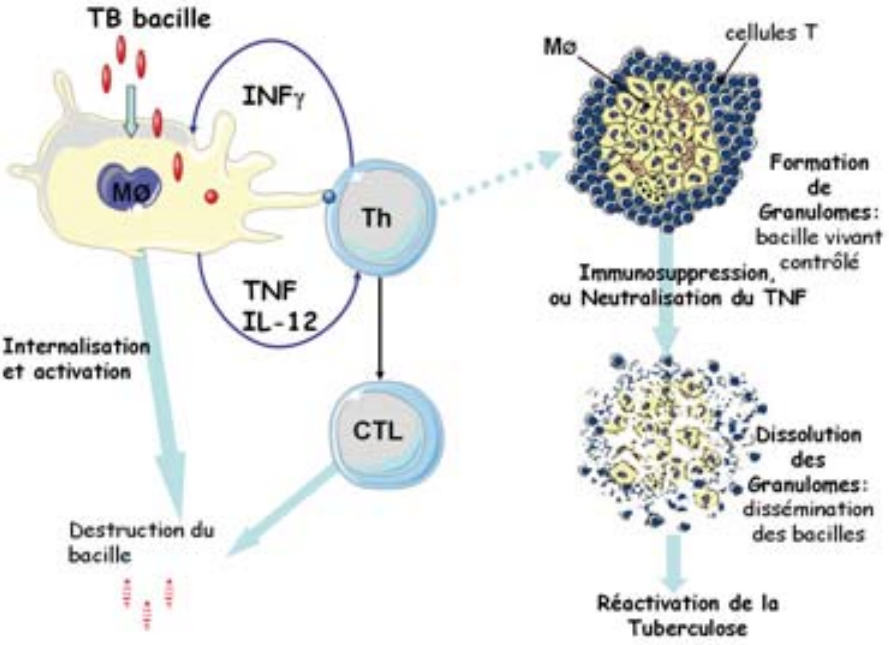


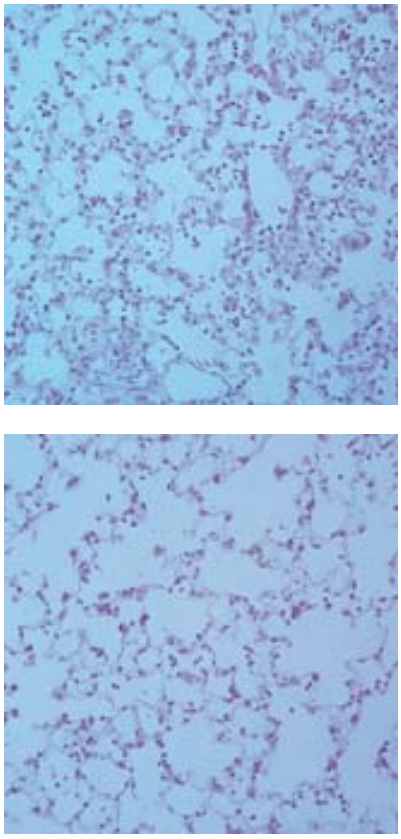
Schéma montrant le rôle essentiel des cytokines telles que le TNF, sécrétée par les macrophages (Mϕ) infectés par Mycobacterium tuberculosis *(TB) dans la formation des granulomes tuberculeux et le contrôle de l'infection.*

Un partenariat efficace

Ce projet issu de la recherche fondamentale bénéficie de l'expérience du développement de nouveaux médicaments et de la recherche pharmaceutique des deux équipes.

Lorsque l'activité *in vitro* d'un composé synthétique intéressant est confirmée, la synthèse est reprise afin de produire suffisamment de matériel pour la caractérisation moléculaire plus poussée par RMN et pour réaliser des tests dans des modèles inflammatoires *in vivo*. Ce « ping-pong » rapide entre les deux équipes de recherche localisées sur les campus CNRS et Universitaire d'Orléans a permis d'avancer le projet de manière très efficace depuis 2007 et de déposer un deuxième brevet portant sur des produits synthétiques nouveaux en 2008. ■

Contacts :
Valérie QUESNIAUX
quesniaux@cnrs-orleans.fr
Olivier MARTIN
olivier.martin@univ-orleans.fr



Coupes histologiques de poumons montrant l'infiltration des cellules inflammatoires dans les poumons après exposition aux endotoxines (photo du haut), inhibée par le traitement avec la molécule synthétique (photo du bas).

Diabète :
de nouveaux médicaments à l'étude

Le diabète de type 2 est dû à une mauvaise utilisation de l'insuline par l'organisme. Les traitements consistent à abaisser la glycémie (taux de glucose dans le sang) et à réduire divers autres facteurs de risque connus. Pour ce faire, de nouvelles voies thérapeutiques sont développées. Elles sont basées sur l'activation de certains récepteurs, les PPARs (Peroxisome Proliferator – Activated Receptors) qui apparaissent comme des cibles thérapeutiques prometteuses. Les chimistes de l'Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA UMR 6005 Université d'Orléans / CNRS) synthétisent de nouvelles molécules susceptibles de devenir soit des outils pharmacologiques pour valider et comprendre ces nouvelles voies thérapeutiques, soit les principes actifs de futurs médicaments.

Prélèvement d'un réactif

Le diabète de type 2

Le diabète de type 2, représentant 90 % des diabétiques (nommé autrefois non insulino-dépendant ou diabète de l'adulte), peut être considéré aujourd'hui comme une maladie de civilisation emblématique du vieillissement de la population, des mauvaises habitudes alimentaires, de l'obésité et de la sédentarité. Sa progression, constante dans les pays occidentaux, est spectaculaire dans les pays du tiers-monde, la population touchée s'avérant de plus en plus jeune. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime qu'il existe plus de 180 millions de diabétiques dans le monde et qu'ils seront plus du double en 2030. Enfin, toujours selon l'OMS, les décès dus au diabète devraient augmenter de plus de 50 % au cours des dix prochaines années si des mesures appropriées ne sont pas prises très rapidement.

Soixante-quinze à 80 % des diabétiques de type 2 sont obèses et 20 à 25 % des obèses deviennent diabétiques. Ainsi, la très grande majorité des diabétiques présente, outre une hyperglycémie permanente ou post-prandiale (après le repas), une série de troubles touchant à la fois le métabolisme glucidique et lipidique. De surcroît, existe à côté de la population franchement diabétique, une frange importante de sujets présentant une série d'anomalies qui constituent des facteurs de risque vasculaire reconnus. Ces anomalies ont été regroupées sous le terme de syndrome métabolique (ou syndrome X).

Un traitement efficace du diabète de type 2, et plus généralement des maladies métaboliques de surcharge pondérale, doit donc viser, non seulement à la normalisation de la glycémie, mais aussi à celle des paramètres lipidiques. Il doit se traduire par une réduction du risque vasculaire. A l'heure actuelle, la prise en charge thérapeutique du diabète de type 2 et du syndrome métabolique n'est pas satisfaisante. L'efficacité des traitements disponibles se révèle souvent insuffisante à long terme avec des effets secondaires qui doivent être évités.

Une nouvelle cible : les PPARs

Au début des années 2000, une nouvelle catégorie de produits est apparue, celle des thiazolidinediones (TZD). Il s'agit de molécules (appelées ligands) allant se fixer sur des récepteurs appelés PPARs. Les PPARs, dont il existe 3 formes (isotypes) connues (α, γ, δ), sont des récepteurs appartenant à la superfamille des récepteurs nucléaires (localisés dans le noyau de la cellule). Les TZD, la Rosiglitazone (Avandia®) et la Pioglitazone (Actos®), sont utilisées avec succès pour le traitement de certains diabètes de type 2. Malheureusement elles entraînent un gain de poids à travers l'augmentation de l'adipogénèse (stockage de lipides dans les cellules adipeuses) et la rétention d'eau.

Afin de pouvoir lutter efficacement contre le diabète de type 2 tout en minimisant les effets secondaires, les chercheurs sont amenés aujourd'hui à exploiter d'autres pistes qui orientent la conception de nouveaux médicaments. Ainsi, trois concepts sont apparus :

- la conception de ligands agissant sur les deux formes PPAR α et γ ;
- la conception de ligands agissant sur les trois formes PPAR ;
- la conception de ligands de la forme PPAR γ induisant une réponse biologique différente en fonction du tissu et/ou de la cellule où se situe le récepteur (concept SPPARM).

Les exigences nécessaires à la validation de tels concepts requièrent des compé-

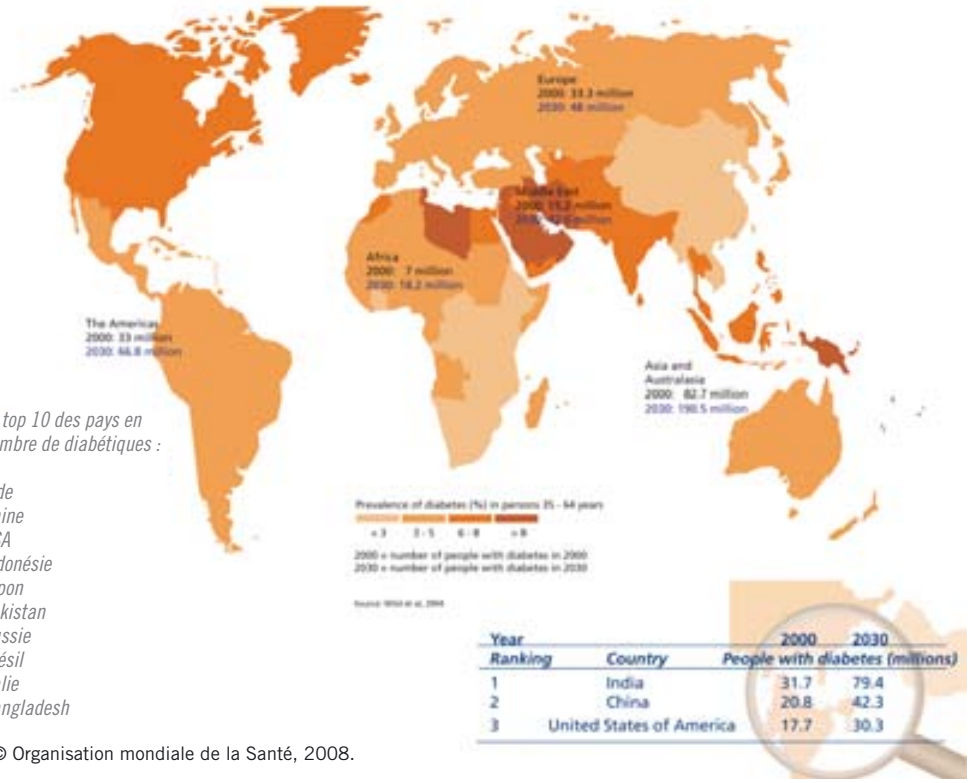
tences pointues dans des domaines très divers (allant de la modélisation moléculaire à la clinique en passant par la chimie) qui ne sont rassemblées sur aucun site de recherche public ou industriel.

Les chimistes en action

Dans ce contexte, l'équipe de chimie hétérocyclique et thérapeutique de l'Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA-UMR 6005 Université d'Orléans / CNRS) s'est associée avec huit autres équipes académiques et un industriel avec pour objectif la synthèse et l'étude du mécanisme d'action *in vitro* et *in vivo* soit de nouveaux composés modulateurs des PPARs selon le concept SPPARM, soit de ligands mixtes des PPARs α et γ. Ce projet a été soutenu par le ministère de la recherche dans le cadre d'une Action Concertée Incitative « molécules et cibles thérapeutiques » et s'intègre aujourd'hui dans le cadre du laboratoire mixte Université d'Orléans / Laboratoires Servier. L'équipe de l'ICOA, impliquée dans la conception et la synthèse chimique de molécules originales, en synergie avec les autres partenaires, s'appuie sur l'utilisation des techniques de modélisation moléculaire et le retour d'expérience des tests biologiques. Ainsi, au départ de structures chimiques issues d'un travail bibliographique, une nouvelle série de composés actifs sur les récepteurs PPARs a été élaborée au sein du laboratoire. Des études de modélisation moléculaire, menées en parallèle, ont montré que la fixation du ligand dans le domaine de liaison au récepteur laissait entrevoir une cavité susceptible de pouvoir être plus largement occupée. Fort de ce constat, les structures chimiques testées ont évoluées dans ce sens, ce qui se traduit par une augmentation de l'activité biologique des nouveaux composés élaborés (schéma).

Plusieurs centaines de molécules ont ainsi été synthétisées. Leur évaluation pharmacologique au niveau moléculaire et cellulaire permet à chaque instant de pouvoir affiner les futurs ligands avec l'espoir de trouver la molécule idéale susceptible de devenir un médicament.

Le diabète dans le monde



Le top 10 des pays en nombre de diabétiques :

Inde
Chine
USA
Indonésie
Japon
Pakistan
Russie
Brésil
Italie
Bangladesh

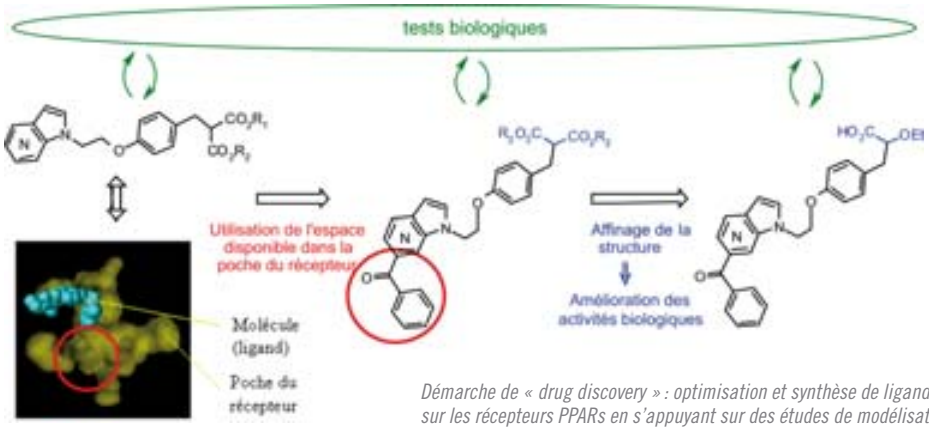
© Organisation mondiale de la Santé, 2008.

Actuellement, notre équipe a déposé deux brevets internationaux concernant la conception de nouvelles molécules et leurs activités sur les récepteurs PPARs. L'action biologique de quelques molécules très prometteuses est actuellement en cours d'évaluation *in vivo* par nos collaborateurs. L'objectif est de pouvoir proposer un ou plusieurs produits au stade préclinique. ■

Contacts :
Franck SUZENET
Franck. suzenet@univ-orleans.fr
Gérald GUILLAUMET
Gerald.guillaumet@univ-orleans.fr

L' Action Concertée Incitative – ACI- intitulée « Application du Concept SPPARM à la synthèse et à l'évaluation de Nouveaux Modulateurs des PPARs pour le traitement du Diabète de Type 2 et du Syndrome Métabolique » regroupe :

- **5 équipes de biologistes (Institut de Médecine Prédictive et de Recherche Thérapeutique – Lille ; Laboratoire de physiopathologie de la nutrition – Paris ; Métabolisme, plasticité et mitochondrie – Toulouse ; Thérapeutique Cellulaire du Diabète – Lille ; Récepteurs Nucléaires, Lipoprotéines et Athérosclérose - Lille),**
- **3 équipes de chimistes (Institut de Chimie Organique et Analytique – Orléans ; Institut de Médecine Prédictive et de Recherche Thérapeutique – Lille ; Génétique, immunothérapie, chimie et cancer – Tours)**
- **un partenaire industriel (Les Laboratoires Servier).**

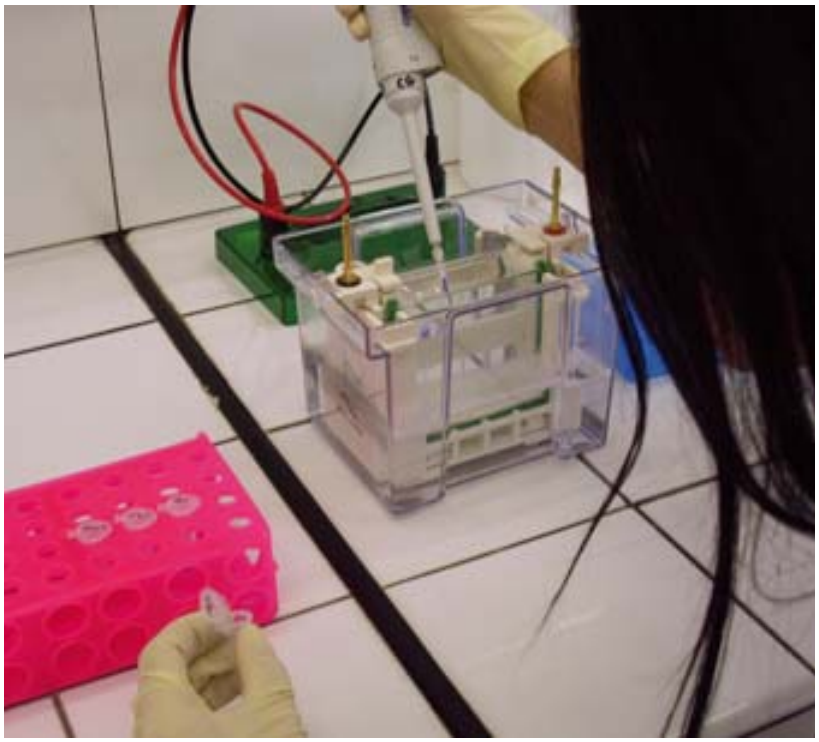


Démarche de « drug discovery » : optimisation et synthèse de ligands actifs sur les récepteurs PPARs en s'appuyant sur des études de modélisation moléculaire et du retour d'expériences des tests biologiques.

Une nouvelle voie de vaccination anti-tumorale

La guérison du cancer est un enjeu majeur de la médecine actuelle. Le Centre de Biophysique Moléculaire (CNRS UPR 4301, Orléans) développe une nouvelle approche de vaccination anti-tumorale qui permettrait à notre système immunitaire de lutter contre les tumeurs cancéreuses.

Le système immunitaire peut reconnaître et éliminer des cellules cancéreuses après stimulation. Des globules blancs spécialisés, appelés lymphocytes T cytotoxiques (CTL), jouent un rôle clé dans cette réponse immune. Ils vont reconnaître des molécules particulières présentes sur la surface des cellules cancéreuses, les antigènes tumoraux, lorsque ceux-ci sont associés aux molécules du soi ou complexes majeurs d'histocompatibilité (CMH-I). Après cette phase de reconnaissance, les CTL détruisent les cellules cancéreuses. Pour stimuler les CTL, il faut que d'autres cellules, les cellules dendritiques (DC), exposent à leur surface les antigènes de petite taille (ou épitopes peptidiques) associés aux molécules CMH-I. L'identification des premiers antigènes tumoraux chez l'homme a permis le développement de l'immunothérapie anti-tumorale.

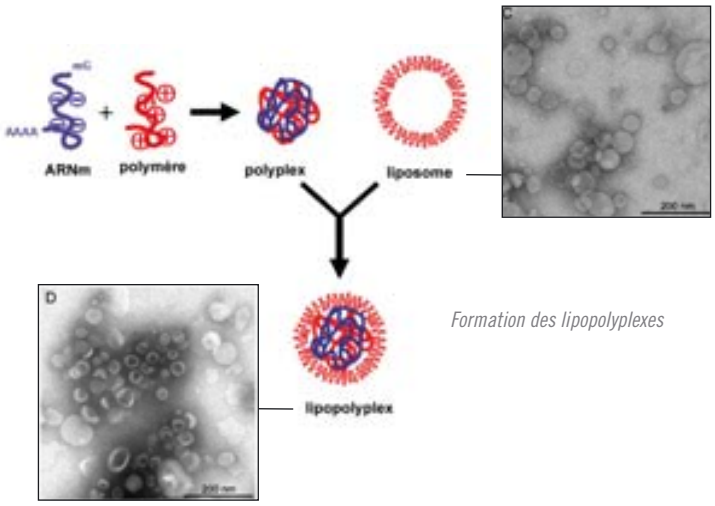


Étape de mesure permettant de vérifier la qualité de la préparation de l'ARNm

Immunothérapie

Deux voies de thérapie cellulaire sont en développement dans différents laboratoires. L'une consiste à injecter des CTL spécifiques de la tumeur, l'autre à injecter des DC activées par les antigènes de la tumeur pour stimuler les CTL du patient. Par rapport à ces stratégies cellulaires, l'injection de l'antigène sous une formulation captée par les DC *in vivo* serait moins lourde et moins coûteuse à mettre en pratique. Lorsque l'antigène est connu celui-ci peut être introduit dans l'organisme sous forme de protéine ou de peptides. Cependant, les voies de pénétration de ces molécules exogènes dans les DC conduisent très rarement à une présentation des épitopes qui soit efficace pour stimuler des CTL. Par contre la production *in situ* de la protéine antigénique à partir de l'acide nucléique correspondant (ADN complémentaire contenant le gène codant l'antigène ou l'ARN messager issu de la transcription du gène) permet de produire l'antigène sous sa forme native et une présentation efficace des épitopes.

Dans ce contexte, l'utilisation de l'ARN messager (ARNm) semble plus sécurisante que l'ADN complémentaire. En effet, l'ARNm n'est pas intégrable dans le génome de la cellule, il ne possède pas d'éléments régulateurs pouvant modifier l'expression de certains gènes,



Formation des lipopolyplexes

ni de séquence conférant une résistance aux antibiotiques. De plus, la traduction de l'ARNm (production de protéines) s'effectue dans le compartiment cytoplasmique des cellules qui est plus facile à atteindre que le noyau dans le cas de l'ADNc.

Formulation des lipopolyplexes

Les recherches menées dans l'équipe « transfert de gènes par des vecteurs synthétiques » ont permis de trouver une formulation vaccinale pour un ARNm codant un antigène spécifique des cancers à mélanome. Plusieurs études ont été nécessaires pour optimiser le transcrit ARNm, les vecteurs et une formulation nano-particulaire.

L'ARNm doit avoir à chaque extrémité des séquences particulières (une séquence PolyA d'au moins 100 résidus d'adénosines et une coiffe 3'-O-methyl-m7$^{5'}$Gppp$^{5'}$G dans la bonne orientation) conditionnant la stabilité de la molécule et le niveau d'expression de la protéine antigénique.

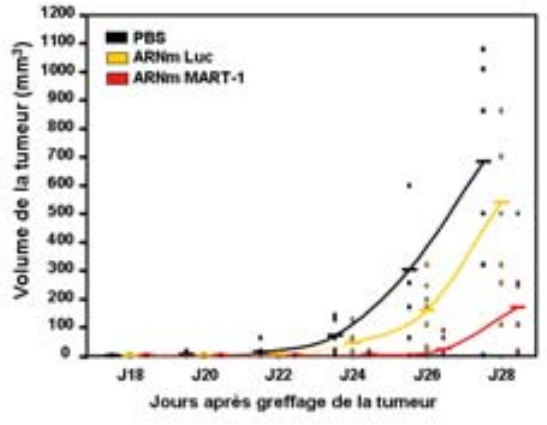
L'expérience de l'équipe dans la conception des vecteurs d'acides nucléiques, a conduit au développement d'un polymère cationique (molécule ayant des charges électriques positives) riche en histidine (polylysine histidylée). Ce polymère permet la formation de complexes électrostatiques avec l'ARNm qui est chargé négativement. Ce complexe (polyplex) protège l'ARNm contre une dégradation par les nucléases (enzymes dégradant les acides nucléiques) dans la circulation sanguine. Ces complexes forment des nanoparticules faiblement chargées d'environ 50 nm. En collaboration avec le Professeur Arabinda Chaudhury (Indian Institute of Chemical Technology, Hyderabad, Inde) des lipides cationiques histidylés ont été synthétisés afin de préparer des vésicules lipidiques (liposomes) chargés positivement. La formulation finale de l'ARNm est obtenue en encapsulant les complexes ARNm/polymère dans ces liposomes. Cet assemblage ternaire conduit à la formation de nouvelles vésicules lipidiques appelées lipopolyplexes d'environ 60 à 100 nm renfermant des nanoparticules d'ARNm. La présence des molécules d'histidine permet de délivrer l'ARNm dans le cytosol après déstabilisation des membranes des vésicules intracellulaires (endosomes) dans lesquelles transitent les lipopolyplexes.

Validation *in vivo* de l'effet vaccinal

L'efficacité du vaccin a été évaluée en collaboration avec le laboratoire Immunologie Embryologie Moléculaires (UMR 6218 CNRS/Université d'Orléans). Le mélanome B16F10 a été choisi. C'est une tumeur hautement agressive chez la souris qui exprime l'antigène MART-1 murin très homologue à l'antigène MART-1 humain. Les résultats montrent qu'un effet protecteur très significatif et spécifique de l'antigène est obtenu avec les lipopolyplexes d'ARNm MART-1. Aucun effet protecteur n'apparaît avec l'ARNm d'une autre protéine (luc) ou avec l'ARNm MART-1 non formulé ou formulé avec le polymère ou les liposomes séparément. La présence de CTL spécifiques montre que la réponse immune mise en jeu correspond bien à celle attendue pour une vaccination efficace contre le cancer. Cette formulation a été également performante pour inhiber le développement des métastases, qui représentent les cellules cancéreuses les plus difficiles à éradiquer.

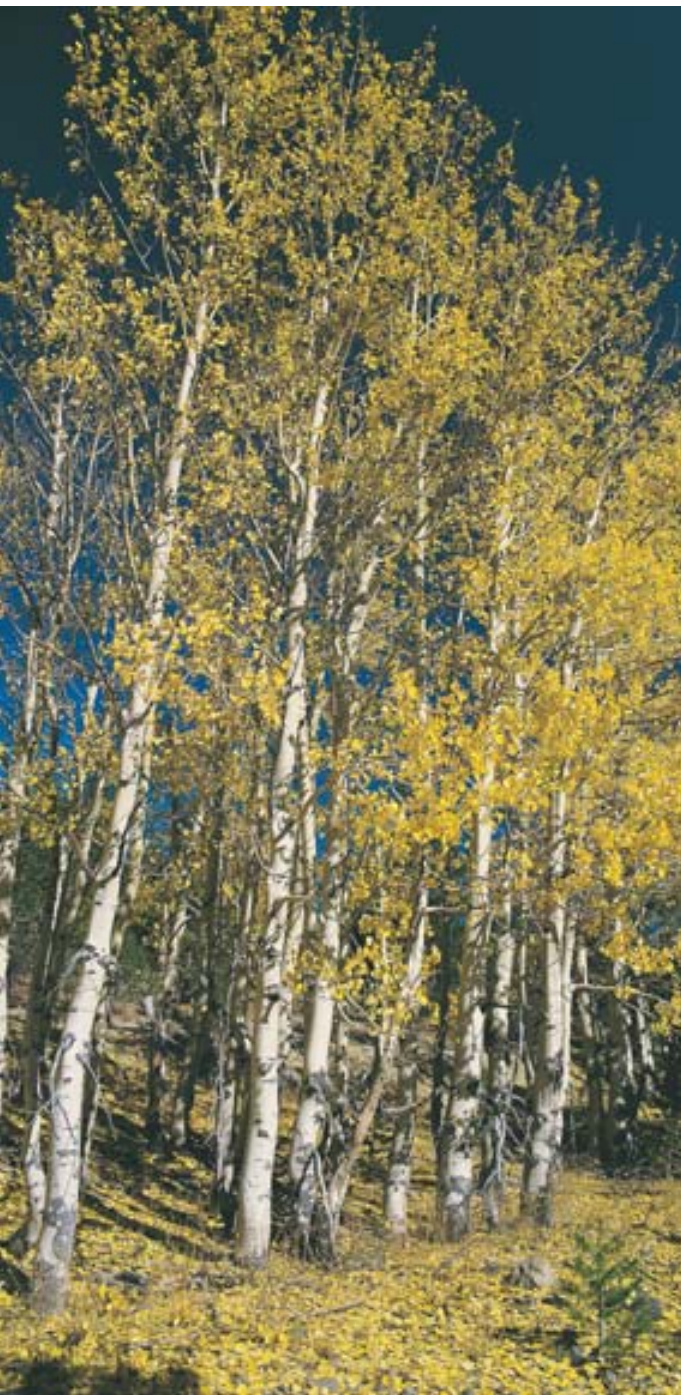
La lutte contre le cancer reste un challenge important pour la communauté scientifique. Toutes avancées innovantes constituent un pas de plus pour gagner ce challenge. Ces résultats ouvrent une approche prometteuse. La recherche de partenariat industriel et de cliniciens permettra de réaliser une évaluation préclinique du vaccin. De nouvelles formulations ciblées et l'addition d'adjuvants sont des compléments qui renforceront son potentiel vaccinal puis thérapeutique. ■

Contact :
Patrick MIDOUX
patrick.midoux@cnrs-orleans.fr



Mesure de la croissance de la tumeur après immunisation avec les lipopolyplexes d'ARNm MART-1 ou d'ARNm Luc en comparaison avec les souris non vaccinées (PBS).

La biomasse,
source d'énergies



Des systèmes énergétiques sans dégagement de CO_2 doivent être maintenant imaginés et mis en place en remplacement de ceux conçus jusqu'à aujourd'hui. Les idées et les réalisations ne manquent pas. L'énergie nucléaire est un procédé utilisé depuis un demi-siècle ; les énergies renouvelables (solaire, éolienne, géothermale, hydroélectrique…) sont de plus en plus développées. L'utilisation des végétaux à des fins énergétiques fait aussi partie de ces tentatives de recherche de solutions.

Ce qui est regroupé aujourd'hui sous le vocable « combustibles fossiles », le pétrole, le gaz naturel et le charbon, est de la matière organique ou biomasse formée à la surface de la Terre pendant des millions d'années. Ces matières se sont transformées au cours du temps et se retrouvent actuellement sous trois formes : solide, liquide et gazeuse. Consommées en grande quantité depuis l'ère industrielle (milieu du XIXe siècle), ce n'est que depuis peu que les pays industrialisés se sont aperçus que ces ressources énergétiques dites primaires ne sont pas inépuisables et donc non-renouvelables à l'échelle humaine. Les émissions de gaz carbonique sont le résultat inévitable de la conversion en énergie, par oxydation ou combustion, de ces combustibles à base de carbone.

Ces mêmes pays ont également récemment découvert que, depuis 150 ans, la libération dans l'atmosphère de milliards de tonnes par an de gaz carbonique, gaz à effet de serre fixé dans la matière organique depuis des centaines de millions d'années, participe au réchauffement climatique et génère un déséquilibre global à l'échelle de la planète.

Valoriser la biomasse végétale

Fournir l'énergie nécessaire à plus de 6 milliards de terriens (9 milliards en 2050) n'est pas tâche aisée. Même si près de 2 milliards d'habitants ne connaissent pas encore la « fée électricité », les sociétés sont aujourd'hui incapables de fonctionner sans cette énergie. Que serait la vie sans électricité, mais aussi sans voiture, etc. Le retour au Moyen Âge est toujours possible mais sûrement pas souhaitable. Produire de l'énergie « propre » sans dégagement de CO_2 est un enjeu majeur aujourd'hui.

Les solutions recherchées visent évidemment à une utilisation énergétique rationnelle et propre des ressources, dont la biomasse végétale. La valorisation énergétique de cette biomasse est un procédé neutre car sa combustion émet le CO_2 qui avait été utilisé par les plantes pour leur croissance (cycle du carbone).

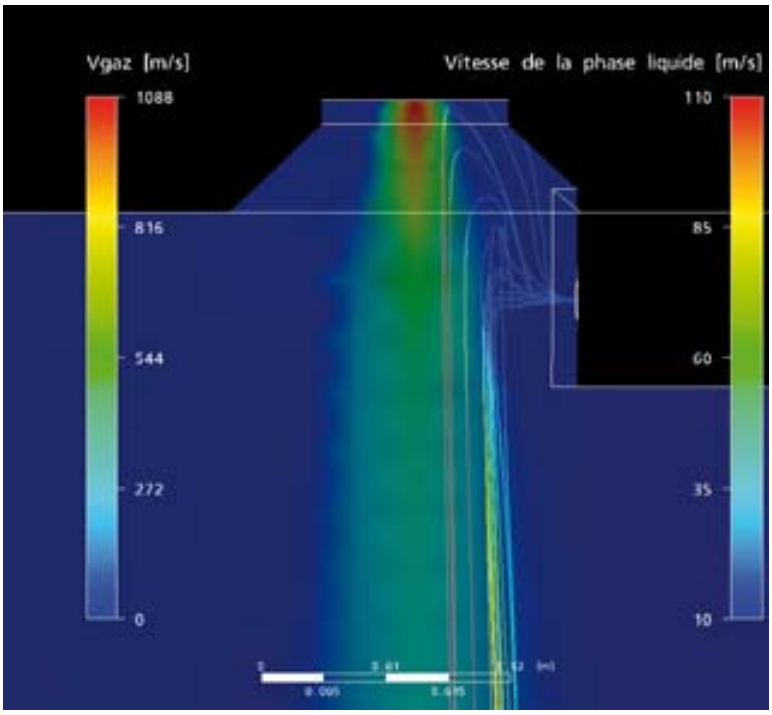
Par rapport à la biomasse fossilisée, l'utilisation de la biomasse d'aujourd'hui pour la production d'énergie pose évidemment le problème de sa compétition avec son utilisation alimentaire. Produire des carburants liquides à

partir du maïs et du blé pose en effet un problème éthique important.

Aujourd'hui la recherche et le développement technologique s'orientent vers le développement de biocombustibles dits de deuxième génération en utilisant les parties non-comestibles de la biomasse et tout ce qui peut être considéré comme des déchets organiques (pailles, feuilles, tiges, déchets organiques municipaux, déchets forestiers etc.).

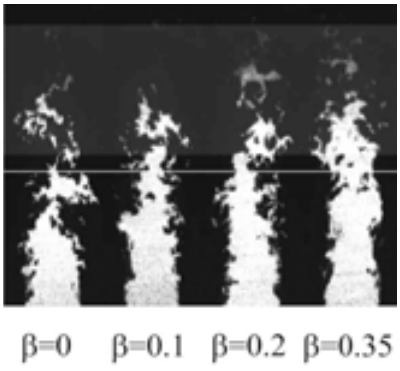
De nouveaux procédés à l'étude

L'institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement (ICARE) à Orléans est engagé dans plusieurs recherches qui visent cet objectif. Les biomasses cibles sont de diverses origines. La fermentation ou méthanisation anaérobie des déchets organiques (déchets bois ou déchets organiques municipaux par exemple) produit le biogaz qui est essentiellement un mélange de méthane et de gaz carbonique. Étant donné sa composition, ce combustible a un faible pouvoir calorifique. Sa combustion dans l'air pose des problèmes d'allumage et aussi de stabilité de flamme ou d'extinction. Son adaptation à des machines thermiques comme les turbines à gaz ou moteur à gaz nécessite des études approfondies de sa combustion. ICARE étudie la cinétique chimique de ce mélange et sa combustion dans des conditions proches des applications, par exemple aux pressions caractérisant les chambres de combustion des turbines à gaz. Le programme européen AFTUR coordonné par le laboratoire et qui s'est achevé en septembre 2007 a permis d'établir les conditions de combustion stable de ce gaz, notamment dans les conditions des turbines à gaz de General Electric et de Turbomeca. De même, un nouveau programme du laboratoire soutenu par la Région Centre et en coopération avec la société CILAS à Orléans et le Groupe de Recherche sur l'Énergétique des Milieux Ionisés (GREMI) à Orléans, vise à surmonter le problème d'allumage de ce combustible en remplaçant les allumeurs classiques par des allumeurs laser.



Simulation numérique de l'injection d'une bio-huile dans le réacteur à plasma. La bio-huile est introduite horizontalement à droite. Les vitesses de la phase liquide sont à lire sur l'échelle colorée à droite. On observe par exemple que la bio-huile est injectée avec une vitesse de l'ordre de 10 m/s. Le plasma se développe verticalement de haut vers le bas. Les vitesses des gaz de plasma sont à lire sur l'échelle colorée à gauche. On observe que la dard du plasma a une vitesse de l'ordre de 1100 m/s à son injection.

Une caractéristique d'une bonne partie des déchets organiques ou agricoles est leur forte teneur en humidité. La valorisation énergétique de la matière organique humide n'est pas très efficace et nécessite un procédé de séchage préalable qui est évidemment consommateur d'énergie. Un procédé de valorisation énergétique est celui dit de la gazéification. Il s'agit simplement



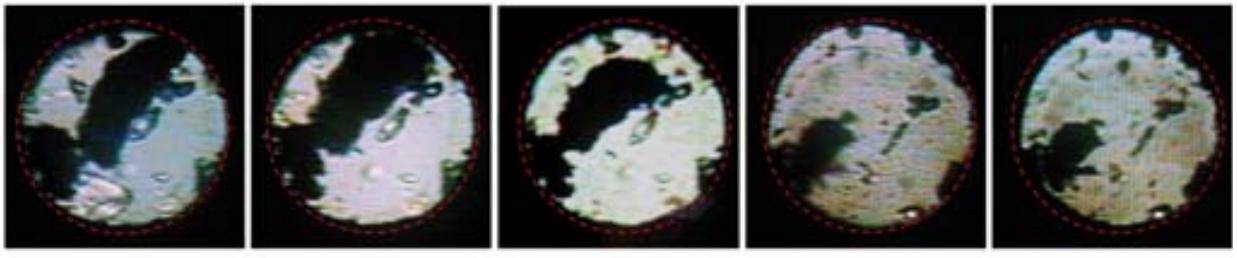
Images instantanées d'une flamme turbulente de biogaz ($CH4+CO_2$) brûlant dans de l'air dans la chambre de combustion haute pression d'ICARE. Pression dans la chambre 9 bars. β est la fraction molaire de CO_2 dans le mélange $CH4+CO_2$. Les images sont prises par la technique de tomographie par plan laser.

Échantillons de déchets vinicoles issus de la distillerie UNGDA (Bordeaux), © UNGDA, © SuperBio. Ce sont ces échantillons qui sont utilisés dans les expériences de gazéification dans l'eau supercritique.

d'une oxydation incomplète où les réactions chimiques se déroulent en déficit d'oxygène et transforment la matière organique (composée essentiellement d'atomes de carbone, oxygène, hydrogène et azote) en monoxyde de carbone (CO) et en hydrogène (au lieu de CO_2 et de H_2O si l'oxydation était complète). Ce mélange de $CO+H_2$ est appelé le gaz synthétique et a un pouvoir calorifique important. Il peut donc être utilisé dans les turbines à gaz pour remplacer le gaz naturel. De même, par des procédés chimiques de type catalytique bien maîtrisés aujourd'hui, des combustibles liquides peuvent être dérivés du gaz synthétique.

Un nouveau procédé de gazéification de la biomasse humide est développé au laboratoire en coopération avec le CEA et le laboratoire Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation (CEMHTI) à Orléans et avec le soutien de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Cette gazéification se fait dans l'eau dans des conditions supercritiques. Dans ces conditions (température supérieure à 376 °C et pression supérieure à 221 bars) le milieu aqueux subit des changements spectaculaires de ses propriétés physico-chimiques et devient notamment un milieu très réactif, capable de dissoudre quasi instantanément toute matière organique. Les recherches portent aujourd'hui sur l'optimisation de ce procédé en termes de composition du gaz obtenu mais aussi en termes de la résistance des matériaux du réacteur aux effets corrosifs de l'eau supercritique. Dans le cadre de ce programme la biomasse humide utilisée est issue des résidus liquides des distilleries d'alcool mais aussi d'autres déchets vini/viticoles liquides ou solides.
Un des points clefs de cette étude est la modélisation des réactions chimiques menant à la décomposition et la gazéification de la biomasse dans l'eau supercritique. Des études de chimie théorique sont menées à ICARE permettant d'une part de caractériser la thermodynamique et la thermocinétique des molécules complexes constitutives de la biomasse étudiée et d'autre part de proposer des mécanismes de cinétique chimique rendant compte des transformations de la matière dans ce milieu hautement réactif.
Le potentiel énergétique des parties cellulosiques des plantes ou des déchets forestiers est élevé et constituent des ressources importantes ; l'optimisation de leur transformation en combustible est aujourd'hui intensément étudiée.

La voie de gazéification est également privilégiée pour ces ressources. La gazéification thermochimique classique utilise une partie de l'énergie contenue dans la biomasse pour entretenir le processus de gazéification. On parle dans ce cas de gazéification autothermique. Une approche alternative est donc de fournir à la biomasse l'énergie nécessaire à sa gazéification par une source extérieure et de garder ainsi tout le pouvoir calorifique de la biomasse dans le gaz de synthèse. On



Différentes phases de la gazéification d'un échantillon de résidu vinicole dans le « diamond anvil cell ».

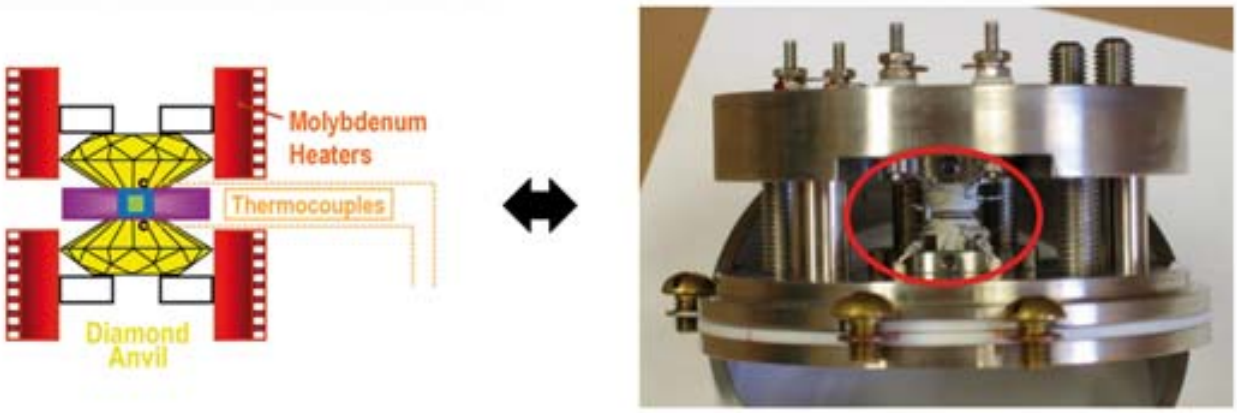


Schéma et photographie du réacteur permettant d'étudier la gazéification de la biomasse dans l'eau supercritique. A gauche le schéma du réacteur montrant notamment les deux diamants opposés entre lesquels est placé l'échantillon. A droite la photographie du « diamand anvil cell ».

parle alors de gazéification allo-thermique. Dans un projet de recherche financé à nouveau par l'ANR et en collaboration avec le CEA et la société Europlasma, le procédé étudié par ICARE concerne la gazéification d'une bio-huile (issue de la pyrolyse préalable de la biomasse solide) dans un milieu plasma (milieu ionisé à très haute température et très réactif). La pulvérisation de cette bio-huile dans le plasma ainsi que la thermocinétique des transformations chimiques de la biomasse dans le milieu plasmagène sont étudiés à ICARE. L'énergie nécessaire pour générer le plasma étant électrique, il est important de bien contrôler le bilan énergétique et environnemental de tout le procédé.

Les micro-algues, nouvelle source d'énergie

Parallèlement à ces procédés de transformations thermochimiques avancées de la biomasse ou des déchets organiques en énergie, des voies biologiques sont aussi de plus en plus développées. Une voie en plein essor est celle qui porte sur la culture des micro-algues. Pour se développer ou se multiplier ces micro-organismes ont besoin d'énergie solaire, de CO_2, d'eau et de certains éléments nutritifs comme l'azote ou le phosphate. Le potentiel de capture du CO_2 par les micro-algues semble être une voie intéressante. Sachant que la biomasse algale se développe plusieurs dizaines de fois plus vite que la biomasse terrestre et que sa composition est essentiellement à base de lipides et de protéines, leur potentiel énergétique est également très important. Les micro-algues peuvent être utilisées pour la production de biodiésel et d'éthanol. Séchées, elles peuvent aussi être utilisées comme combustibles dans les centrales thermiques. Divers projets de démonstration des systèmes intégrés de culture de micro-algues à proximité des centrales thermiques sont en cours. Un tel projet est aussi en cours de montage par ICARE dans le cadre d'un appel d'offres européen, dans lequel il s'agit de capturer le CO_2 émis par une centrale thermique au charbon et de l'utiliser pour la culture de la biomasse micro-algale.

La biomasse n'a besoin que d'eau, de CO_2 et d'énergie solaire pour que la photosynthèse fasse son travail naturel. Les connaissances en physico-chimie, en énergétique et en biotechnologies d'aujourd'hui devraient permettre de développer des voies originales d'utilisation des processus naturels pour répondre d'une façon propre aux besoins énergétiques de l'humanité. L'interdisciplinarité du campus scientifique d'Orléans est un immense atout pour jouer un rôle de leader dans ces nouveaux domaines de recherche et de développement technologique. ■

Contact :
Iskender GÖKALP
Directeur de l'Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement (ICARE)
gokalp@cnrs-orleans.fr

Naissance d'un moteur fusée
en laboratoire

Le moteur à détonation continue rotative est un concept nouveau en propulsion spatiale. La combustion s'effectue en régime de détonation, un processus très brutal de libération d'énergie.

Pour permettre le lancement dans l'espace de charges utiles plus grandes ou des missions habitées vers d'autres planètes que la Terre, il est aujourd'hui nécessaire de concevoir de nouveaux systèmes de propulsion spatiaux. L'exploitation du régime de détonation en remplacement de la combustion à pression constante est à l'étude.

Des moteurs qui détonent

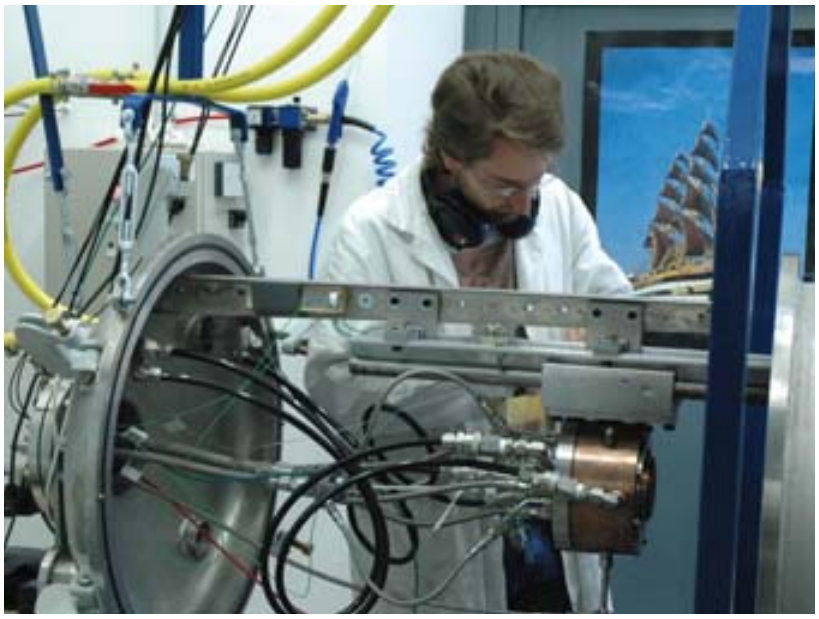
Les premiers travaux sur la propulsion par détonation ont été menés par l'équipe de Hoffmann en 1940. Ces pionniers ont introduit le principe du moteur à détonation pulsée. La détonation est initiée périodiquement dans une chambre de combustion alimentée par un flux continu de mélange réactif. Les produits de détonation sont ensuite éjectés dans l'atmosphère. Pour la propulsion hypersonique, la détonation oblique stationnaire, stabilisée dans un écoulement à grande vitesse est envisagée comme mode de combustion. Le fonctionnement d'un moteur à détonation rotative est lui basé sur la propagation d'une détonation continue dans une chambre annulaire alimentée par un flux continu de mélange réactif. Ce mode de propulsion semble davantage convenir à une application spatiale. L'établissement d'un plan sonique dans le moteur ou dans une tuyère en sortie de chambre permet le découplage aérodynamique entre la chambre et le milieu extérieur et par conséquent le fonctionnement du moteur dans un milieu à basse pression atmosphérique.
Le Centre National d'Études Spatiales (CNES) qui analyse des modes de propulsion spatiale envisageables pour le futur, oriente et programme ainsi des activités de recherche sur la propulsion par détonation rotative. À Poitiers, le Laboratoire de Combustion et de Détonique (LCD – CNRS) vient de terminer, dans le cadre d'un doctorat financé par le CNES, une première étude expérimentale et numérique pour déterminer la faisabilité d'un moteur fusée à détonation rotative.

Le moteur à détonation rotative

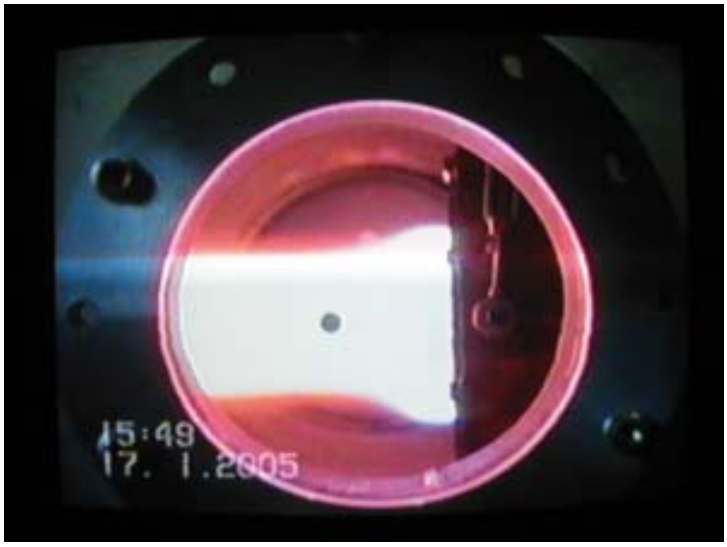
Expérimentalement, la détonation rotative est obtenue dans une chambre de révolution délimitée par deux cylindres coaxiaux. L'injection séparée en combustible et en oxydant se fait sur le côté fermé de la chambre. Une fois initiée, la détonation se propage transversalement dans l'espace annulaire et bloque l'alimentation. Après le passage de la détonation, la pression dans les produits de détonation diminue rapidement. Quand la pression devient inférieure à la pression d'alimentation, les réactifs sont alors admis dans la chambre et alimentent de nouveau la détonation ayant effectuée une rotation complète de l'espace annulaire.

Une approche expérimentale unique

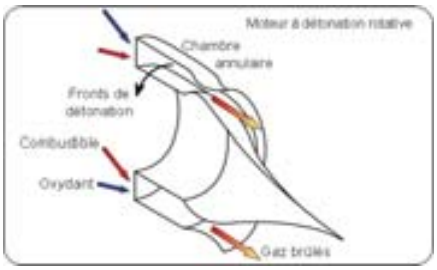
Une installation expérimentale dédiée a été développée au *Laboratoire de Combustion et de Détonique* pour permettre un fonctionnement du moteur à détonation sur plusieurs secondes et mesurer sa poussée. Ce dispositif comporte une enceinte de grand volume pour un fonctionnement à pression atmosphérique ou sub-atmosphérique, des circuits d'alimentation en gaz et de refroidissement, un système d'extraction des gaz brûlés, un dispositif d'allumage et de commande, et un ensemble de diagnostics spécifiques. En parallèle, une première approche numérique a été effectuée.



Installation expérimentale pour permettre le fonctionnement d'un moteur à détonation sur plusieurs secondes.



Jet de gaz brûlés en sortie de moteur.



8 fronts réactifs dans une chambre de combustion annulaire. Temps de pose : 100 ns

La chambre de combustion utilisée est de géométrie annulaire cylindrique délimitée par deux parois cylindriques refroidies. La chambre est alimentée séparément en éthylène et en oxygène. L'initiation est réalisée par transition déflagration détonation. Plusieurs fronts réactifs se propagent selon un mouvement de rotation à quelques millimètres de l'injection. Des restrictions de section et ou une tuyère convergente-divergente peuvent également être ajoutées à la sortie du moteur pour en améliorer les performances.

Une métrologie rapide adaptée a été mise en œuvre pour déterminer les caractéristiques des ondes de détonation continues par la mesure de la pression et de la célérité à l'aide de capteurs de pression (temps de réponse de l'ordre de 1µs) et de fibres optiques. La poussée a été estimée à l'aide d'un capteur de force à jauges de contraintes, L'enregistrement des vibrations est obtenu par des accéléromètres et la température en paroi par des thermocouples. Des caméras rapides intensifiées sont utilisées pour déterminer le nombre de fronts réactifs en rotation dans le moteur.

Cette installation se distingue de celles déjà existantes par le contrôle de l'injection durant le fonctionnement sur une durée de plusieurs secondes, par le circuit de refroidissement et par l'utilisation d'une métrologie permettant en particulier les mesures de poussée et de vibrations.

Des résultats prometteurs

Les essais réalisés ont mis en évidence un régime de rotation de plusieurs fronts réactifs. Les fronts, dont le nombre constant généralement compris entre 1 et 8 selon les conditions d'essai, sont caractérisés par une célérité de propagation absolue toujours comprise entre 1000 et 1300 m/s et un rapport de pression de deux à trois à travers le front. Ces faibles niveaux de valeurs par rapport aux propriétés théoriques de détonation du mélange injecté peuvent être expliqués par la dégradation du mélange réactif frais dilué par une partie des gaz brûlés.

Concernant les performances, l'impulsion spécifique la plus élevée a été délivrée par la chambre munie d'une restriction de section prolongée par une tuyère convergente-divergente. La diminution de la section de sortie de la chambre de combustion permet de maintenir un régime de fronts continus et assure une stabilisation rapide de la poussée. Les vibrations mécaniques ne comportent pas de fréquences inférieures à 8 kHz, et aucune basse fréquence de l'ordre de 100 à 200 Hz dangereuse pour la structure des lanceurs.

La faisabilité d'un moteur à ondes de détonation transverses a été démontrée. Des études plus poussées sont néanmoins nécessaires pour en préciser l'intérêt en propulsion et pour mieux comprendre les mécanismes qui déterminent le comportement des fronts réactifs. ■

Contacts :
Rabita ZITOUN
zitoun@lcd.ensma.fr
Daniel DESBORDES
desbordes@lcd.ensma.fr

LA DÉTONATION, UN PROCESSUS TRÈS BRUTAL DE LIBÉRATION D'ÉNERGIE

La combustion d'un mélange réactif gazeux peut s'effectuer suivant deux processus distincts selon la source d'énergie utilisée pour son initiation : la déflagration ou la détonation.

La déflagration est nettement subsonique par rapport aux gaz frais (l'ordre de grandeur de la vitesse de flamme est compris entre 1 et 100 m/s) et les effets mécaniques qu'elle engendre sont faibles par rapport aux effets thermiques.

La détonation engendre des surpressions importantes (20 à 30 fois la pression initiale), la température atteinte est très élevée (3000 à 4000 °C) et les effets mécaniques sont comparables aux effets thermiques. Le front réactif est supersonique par rapport au milieu amont non réagi : sa célérité se compte en kilomètres par seconde (2000 à 3000 m/s, soit un nombre de Mach de l'ordre de 5 à 7).

Une si particulière racine carrée

La racine carrée de 2, notée $\sqrt{2}$, est le nombre qui, multiplié par lui-même, donne 2. Bien que moins connue que cette autre « star numérique » qu'est π (le fameux 3,14), la racine carrée de 2 est l'un des nombres les plus fondamentaux des mathématiques.

© Mairie d'Annemasse

Porte d'harmonie.
Cette œuvre monumentale a été réalisée en 1997 par Michel Ventrone, et se trouve aujourd'hui à Annemasse (Haute-Savoie). Le rapport de sa hauteur (9,20 m) à sa largeur (6,50 m) a été choisi pour être voisin de $\sqrt{2}$.

Prenez un carré, mesurez la longueur du côté, celle de l'une des diagonales, et faites le rapport entre les deux : si votre dessin est fait correctement, vous obtenez un nombre voisin de 1,41. Ce nombre, c'est $\sqrt{2}$, la racine carrée de 2, dont une valeur plus précise est 1,4142135623. Ce résultat, qui se démontre à l'aide des mathématiques du collège, est connu depuis près de quatre mille ans, comme en témoigne une fascinante tablette babylonienne rédigée entre -1900 et -1600. Cette tablette, qui porte le numéro YBC 7289, montre un carré, ses deux diagonales, ainsi que des marques appelées « clous » et « chevrons », qui correspondent à des nombres écrits en numération babylonienne. Les trois chevrons le long du côté supérieur gauche correspondent à la longueur du côté, la série de clous et chevrons en bas à celle de la diagonale. Quant à celle au centre du carré, elle exprime approximativement la valeur 1,4142129, évaluation de $\sqrt{2}$ au cent millième près. L'extraordinaire précision avec laquelle les Babyloniens connaissaient la racine carrée de 2 n'a d'égale que la perception extrêmement moderne qui était la leur de ce nombre. Pour eux, comme pour nous, $\sqrt{2}$ était une constante fondamentale de la géométrie, celle qui exprime le rapport entre diagonale et côté d'un carré quel que soit la taille de ce carré. Aucun document d'une ancienneté et d'une précision comparable n'a été retrouvé concernant un autre nombre.

Un nombre irrationnel

Née en tant que nombre chez les Babyloniens, la racine de deux renaît mille ans plus tard sous une autre forme. Les Grecs, en effet, qui jettent les principales fondations des mathématiques qui sont les nôtres, découvrent probablement au Ve siècle avant notre ère qu'il n'est pas possible de trouver un segment dont la longueur entrerait un nombre exactement entier de fois dans le côté et dans la diagonale d'un carré (s'il y entre un nombre entier de fois dans le côté, alors il n'entre pas un nombre entier de fois dans la diagonale, et inversement). En langage moderne, cela se traduit par le fait que la racine carrée de 2 est un nombre « irrationnel », c'est-à-dire qu'elle ne peut s'obtenir comme le résultat de la division d'un nombre entier par un autre. Ce que les Grecs appelaient « l'incommensurabilité de la diagonale au côté » était pour eux un phénomène d'une importance considérable, qui a profondément orienté leur manière de faire des mathématiques. À l'époque, des philosophes comme Platon ou Aristote reviennent régulièrement sur ce phénomène, que l'on retrouve par la suite cité aussi bien par des théologiens médiévaux (Jean Duns Scot, Nicolas d'Autrécourt) que par Voltaire, entre autres.

Une application au quotidien

L'intérêt de la racine carrée de 2 n'est pas que mathématique ou philosophique. Des architectes aussi prestigieux que Vitruve (I^er^ siècle avant notre ère), Leon Alberti (XV^e^) ou encore Andrea Palladio (XVI^e^ siècle) affirment explicitement le caractère esthétique du rapport de la diagonale du carré à son côté. Mais la principale utilisation quotidienne de la racine carrée de 2 concerne quelque chose de plus commun : les formats de nos feuilles de papier. Le plus courant, le format A4, est celui d'un rectangle de 21 cm de large sur 29,7 cm de long : le rapport 29,7/21 est une approximation de $\sqrt{2}$. L'intérêt de ce choix est que, en pliant une feuille de format A4 en deux dans le sens de la

La tablette YBC 7289, conservée à Yale (États-Unis).

© Yale Babylonian Collection

BULLETIN DES LOIS DE LA RÉPUBLIQUE

237.

AU NOM DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

(N.° 2136.) *Loi sur le timbre.*

Du 13 Brumaire, an VII de la République une et indivisible.

LE CONSEIL DES ANCIENS, adoptant les motifs de la déclaration d'urgence qui précède la résolution ci-après, approuve l'acte d'urgence.

Suit la teneur de la Déclaration d'urgence et de la Résolution du 9 Vendémiaire :

Le Conseil des Cinq-cents, après avoir entendu le rapport de sa commission des finances ;

Considérant que le bon ordre et les besoins du trésor public sollicitent une prompte révision des lois existantes sur le timbre des papiers destinés aux actes et registres, et de nouvelles mesures pour assurer la perception de cette contribution,

Déclare qu'il y a urgence.

Le Conseil, après avoir déclaré l'urgence, prend la résolution suivante :

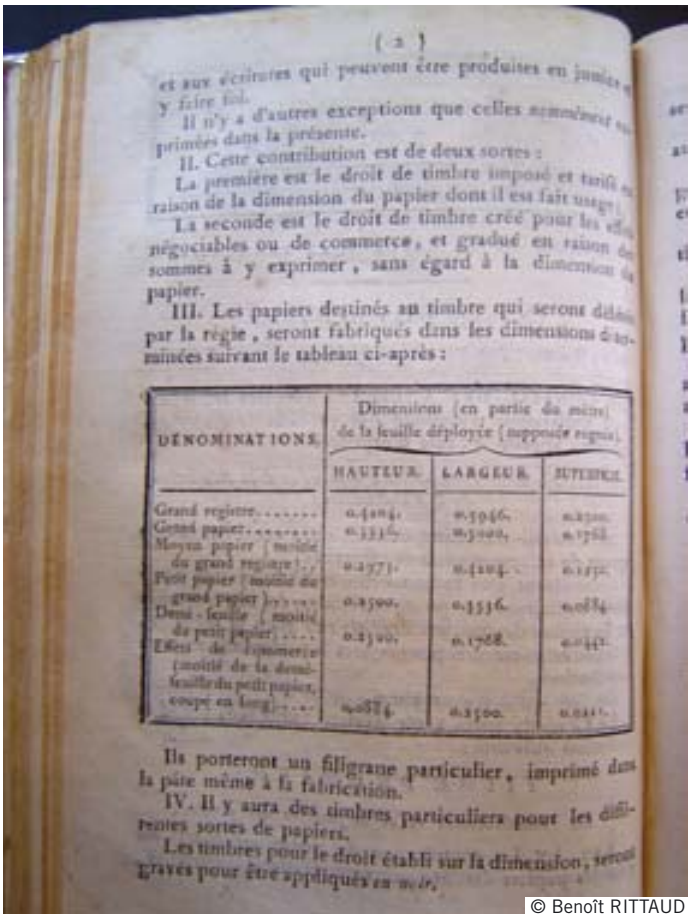
TITRE PREMIER.

De l'établissement et de la fixation des droits.

ART. I.er La contribution du timbre est établie sur tous les papiers destinés aux actes civils et judiciaires,

A

© Benoît RITTAUD



(2)

et aux écritures qui peuvent être produites en justice ou y faire foi.

Il n'y a d'autres exceptions que celles nommément exprimées dans la présente.

II. Cette contribution est de deux sortes :

La première est le droit de timbre imposé et tarifé en raison de la dimension du papier dont il est fait usage ;

La seconde est le droit de timbre créé pour les effets négociables ou de commerce, et gradué en raison des sommes à y exprimer, sans égard à la dimension du papier.

III. Les papiers destinés au timbre qui seront délivrés par la régie, seront fabriqués dans les dimensions déterminées suivant le tableau ci-après :

DÉNOMINATIONS.	Dimensions (en partie du mètre) de la feuille déployée (supposée rognée).		
	HAUTEUR.	LARGEUR.	SUPERFICIE.
Grand registre.....	0.4004.	0.3046.	0.1220.
Grand papier.....	0.3334.	0.3000.	0.1768.
Moyen papier (moitié du grand registre)...	0.2571.	0.4204.	0.1232.
Petit papier (moitié du grand papier).....	0.2500.	0.3536.	0.0884.
Demi-feuille (moitié du petit papier).....	0.2500.	0.1768.	0.0442.
Effets de commerce (moitié de la demi-feuille du petit papier, coupée en long).....	0.0884.	0.2500.	0.0221.

Ils porteront un filigrane particulier, imprimé dans la pâte même à la fabrication.

IV. Il y aura des timbres particuliers pour les différentes sortes de papiers.

Les timbres pour le droit établi sur la dimension, seront gravés pour être appliqués en noir,

© Benoît RITTAUD

La « loi sur le timbre » *du 13 Brumaire de l'an VII (3 novembre 1798) légalisant en France de nouveaux formats de papier. On y trouve notamment l'équivalent de notre format A3.*

largeur, on obtient un rectangle de même forme (c'est-à-dire dont le rapport longueur/largeur est le même que celui du A4 - √2, donc). Ce nouveau rectangle définit le format A5, et ainsi de suite. C'est pour cette raison que lorsque nos photocopieuses nous proposent d'agrandir un document, le facteur de grossissement proposé par défaut est 141 % (soit 1,41, une valeur approchée de √2). S'il s'agit de réduire, le facteur proposé est 71 % (parfois 70 %), c'est-à-dire 0,71, une valeur voisine de 1/√2. La racine carrée de 2 est le seul rapport permettant de disposer de rectangles ayant cette propriété de se répliquer en plus petit à chaque nouveau pliage. L'idée générale de ces formats est née au XVIII[e] siècle, où une première tentative de légalisation a eu lieu en France en 1798. Mais c'est en Allemagne, au XX[e] siècle, que la norme est parvenue à s'imposer véritablement, avant de se diffuser dans la plupart des pays du monde (à la notable exception des pays d'Amérique du Nord).

4000 ans de recherche

Même si son irrationalité n'a plus le parfum d'étrange d'autrefois, la racine carrée de 2 n'a pas fini d'intriguer les mathématiciens, qui cherchent encore à en percer certains mystères. Parmi eux, le plus célèbre et le plus difficile concerne la répartition de ses décimales. Il est facile de démontrer, en effet, que, comme tout nombre irrationnel, la racine carrée de 2 possède une infinité de chiffres après la virgule, qui ne sont pas la répétition à l'identique d'une même succession de chiffres (on dit que le développement décimal de √2 est « apériodique »). Les questions qui se posent ne concernent pas le calcul des décimales, que l'on sait aujourd'hui effectuer avec autant de précision que l'on veut (les Babyloniens disposaient déjà, semble-t-il, de méthodes analogues), mais sont d'ordre qualitatif : y a-t-il une règle simple qui permette de déterminer chaque décimale à partir de la (ou des) précédente(s) ? Dans l'écriture décimale de √2, y a-t-il un moment à partir duquel le chiffre 7 n'apparaît plus ? Des mathématiciens se sont acharnés durant tout le XXe siècle à trouver la réponse à ce genre de questions, sans succès pour l'instant. Et rien ne dit que le XXI[e] permettra de venir à bout de ces problèmes nouveaux qui montrent l'inépuisable richesse de ce nombre apparu sur une tablette d'argile entre Tigre et Euphrate il y a près de quatre mille ans. ■

Contact :
Benoît RITTAUD
b.rittaud@wanadoo.fr
Laboratoire de Mathématiques et de Physique Théorique
(CNRS/Université François Rabelais de Tours)

La biomécanique
en plein essor à Poitiers

La biomécanique, science pluridisciplinaire, étudie les êtres vivants d'un point de vue mécanique. Le domaine scientifique concernant les recherches menées sur l'homme est communément appelé : « biomécanique humaine ». Son Champs d'application est vaste : de la cellule à l'être humain dans son ensemble, en passant par les organes.

L'objectif de cette recherche est de mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement du corps humain afin d'améliorer les traitements thérapeutiques et/ou les performances physiques. La biomécanique est donc une approche pluridisciplinaire d'une problématique médicale. Cette approche est réalisée conjointement par des médecins et des scientifiques. Les avancées les plus notables de ces dernières années ont été réalisées dans le domaine des prothèses (hanche, genou, valve cardiaque), mais aussi dans celui de la rééducation fonctionnelle et des techniques opératoires.

Les projets de recherche en biomécanique sont basés sur des questionnements des médecins et donc directement issus du milieu clinique. Les scientifiques apportent alors leurs contributions par des outils issus du monde industriel et technique. Cette synergie est donc indispensable pour continuer ces avancées dans le secteur médical afin d'améliorer la qualité des soins pour les patients et de développer de nouvelles voix thérapeutiques. Les projets de recherche d'aujourd'hui dans le domaine de la biomécanique feront les avancées médicales de demain dans le domaine clinique.

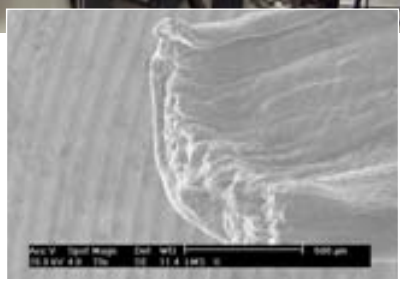
À Poitiers, depuis plus de 20 ans, de nombreuses activités de recherche réunissent, dans ce domaine de la biomécanique humaine, les laboratoires de recherche de l'Université, du CNRS, de l'INSERM, de l'INRA et de l'ENSMA et les services du Centre Hospitalier Universitaire (rééducation fonctionnelle, orthopédie et traumatologie, urgences, neurochirurgie, cardiologie, morphologie humaine, ana-pathologie).

Machine d'essais bi-axiales pour la réalisation de tests en bio-rhéologie tissulaire (LMS)

Les compétences des laboratoires sont multiples :

- le Laboratoire de Mécanique des Solides étudie plus particulièrement le mouvement humain, la locomotion, le comportement mécanique des organes (muscles, os, tendons…).
- le Laboratoire de Mécanique et Physique des Matériaux s'est spécialisé dans la conception et la validation des prothèses et des orthèses.
- le Laboratoire d'Études Aérodynamiques s'est axé sur les écoulements sanguins.
- Signal, Images Communications a développé des techniques de simulation par l'image.

et répondent à l'ensemble des questions des cliniciens.



Visualisation de la micro structure du tendon afin de mieux comprendre ses mécanismes internes. (LMS Poitiers/ LMS Polytechnique)

Des projets de recherche fédérateurs

La deuxième édition des journées thématiques biomécanique, qui s'est tenue le 14 mars 2008 à l'Institut de Morphologie Humaine de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de l'Université de Poitiers, a fédéré et de mutualiser l'ensemble des forces et des moyens dans le domaine de la biomécanique et de dégagé des projets de recherche rassemblant le maximum de chercheurs autour d'un même thème.

Effet de la pression plantaire sur l'équilibre de la personne âgée « chuteuse », afin d'améliorer sa rééducation fonctionnelle. (CHU Poitiers/LMS)

Trois axes de recherche ayant une forte perspective fédératrice sont issus de ces journées :

- L'étude du ***mouvement humain sain et pathologique*** consiste à analyser la locomotion humaine pour mieux comprendre les phénomènes qui le régissent. Des chercheurs poitevins travaillent actuellement sur l'analyse des mécanismes de chute chez les personnes âgées afin de prédire les risques de chute chez cette population. Cela concerne 400 facteurs de risques d'ordre physique, physiologique, environnemental… L'objectif est de supprimer ces facteurs de risque (ou au moins de les réduire) afin d'en réduire le nombre. Le deuxième point fort de cet axe à Poitiers, est l'évaluation de la performance motrice chez les patients en cours de rééducation. Cela permet d'optimiser les soins (réduction des coûts et soins mieux adaptés) pour chaque patient en fonction de sa pathologie et de sa progression personnelle. Cela débouche sur de nouvelles voies thérapeutiques dans le domaine de la médecine physique. D'autres projets pluridisciplinaires avec les neurochirurgiens ont également été évoqués dans le domaine des maladies d'Alzheimer et de Parkinson.

- Les ***nouvelles techniques chirurgicales sur le rachis*** actuellement en pleine émergence sont très prometteuses. Des recherches sont menées afin d'améliorer la qualité et l'efficacité des soins lors d'une intervention sur le rachis (kyphoplastie (*), fixation occipito-cervicale (**)). Ces recherches permettent de minimiser les échecs opératoires tout en augmentant la fiabilité de ce type d'intervention. L'objectif est donc de concevoir des techniques opératoires et des appareillages, mais aussi de les valider d'un point de vue scientifique et clinique. Dans cet axe, des essais expérimentaux sont pratiqués au Centre de Dons des Corps.

- La ***bio-rhéologie tissulaire*** est la connaissance fine des comportements mécaniques des organes qui composent le corps humain. Elle est destinée à mieux comprendre leurs fonctions mécaniques. Le but est de développer des modèles numériques plus proches de la réalité, comme ceux utilisés pour les crashs tests virtuels ou bien les simulations préopératoires. Cela débouche directement sur la conception de nouveaux systèmes de protection routière, mais aussi sur le développement de prothèses et d'orthèses ayant un fonctionnement se rapprochant le plus possible de l'organe amputé. Dans cet axe, nous effectuons également des tests de résistance des fixations utilisées lors des opérations, comme par exemple la résistance à la traction des agrafes utilisées dans les ablations intestinales. Pour ce thème, les biomécaniciens de Poitiers viennent d'acquérir des moyens expérimentaux de sollicitation mécanique.

En septembre 2008, l'ensemble des projets en biomécanique pourra s'appuyer sur :

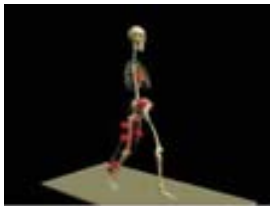
- une nouvelle formation en biomécanique, accessible aux étudiants de médecine et de sciences, dispensée à 50 % par les scientifiques et à 50 % par les médecins
- le programme « vieillissement et handicap » du Contrat de projets Etat-Région 2007-2013 de soutien à la recherche.

Les scientifiques participants à ces journées constituent les forces vives d'une recherche en biomécanique performante et fédératrice, permettant des avancées scientifiques notables et donc une amélioration de la qualité et de l'efficacité des soins. Leur objectif est de faire de Poitiers un lieu incontournable de la biomécanique nationale et internationale et, tout en réalisant un bilan de leurs activités, de décider collégialement des orientations futures. ■

Contacts :
Cyril BREQUE
cyril.breque@lms.univ-poitiers.fr
Michel SCEPI
m.scepi@chu-poitiers.fr

(*) Injection de ciment dans une vertèbre
(**) Immobilisation par une prothèse métallique des cervicales et de la partie postérieure et inférieure de la tête (occiput)

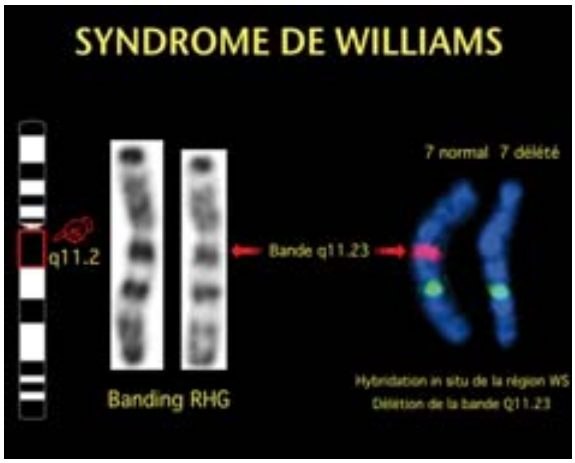
Simulation expérimentale du soulevé de charge afin de déterminer et de minimiser les efforts sur la colonne vertébrale (LMS)



Modélisation numérique de la locomotion dans le but d'améliorer le mouvement humain pathologique (LMS)

Le syndrome de Williams-Beuren, des particularités neuropsychologiques

Identifié pour la première fois en 1962, le syndrome de Williams-Beuren est une maladie génétique rare. La fréquence d'apparition de ce syndrome a récemment été évaluée à 1 cas pour 20 000 naissances. Les malades présentent notamment des malformations cardiaques, un profil cognitif particulier marqué par un retard mental et des difficultés au niveau logique et visuo-spatial.



Une délétion chromosomique à l'origine du syndrome de Williams.

À la naissance, les enfants ont des difficultés alimentaires, de sommeil, une irritabilité avec des pleurs fréquents ainsi qu'un retard de croissance. Ils présentent également des traits faciaux caractéristiques, assez peu évocateurs à la naissance mais le devenant à partir de 18 mois, jusqu'à 8 ans environ.

Le langage a longtemps été considéré comme de bon niveau malgré une émergence tardive. Une fois acquis, celui-ci se développe de façon assez spectaculaire, on parle « d'explosion linguistique ». Les capacités langagières de ces enfants ont souvent été décrites comme préservées dans leurs aspects phonologiques, morphologiques, syntaxiques et lexicaux. En revanche, des études plus récentes ont souligné des déficits dans l'usage social du langage : difficultés d'adaptation à l'interlocuteur, manque de respect des règles de la conversation, manque d'informations au cours de l'échange.

Les recherches du CeRCA

Les recherches du Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage (CeRCA, UMR 6234 CNRS/Université de Poitiers) depuis 2001 s'intéressent aux particularités neuropsychologiques de ce syndrome, qui n'ont été décrites dans aucune autre pathologie génétique, et à la détermination des réelles compétences langagières de ces enfants.
Ainsi, les travaux menés relèvent de l'étude des aspects pragmatiques du langage s'intéressant à la capacité des personnes à prendre en compte le contexte et à utiliser le langage de façon adaptée à la situation et à l'interlocuteur. Les travaux du laboratoire montrent que, selon la situation de communication, les capacités de cette population sont plus ou moins bonnes : leurs capacités pragmatiques semblent meilleures lors d'une narration que lors d'une conversation. En effet, en situation de narration où ils doivent relater une histoire sur la base d'images, les enfants et adolescents proposent des histoires d'un niveau supérieur à celui observe dans d'autres pathologies présentant un retard cognitif similaire. Leurs récits sont relativement bien construits et cohérents. De plus, ils apportent un point de vue subjectif en utilisant beaucoup d'évaluations sociales ; par exemple, en insérant des dialogues, en attribuant des émotions et états mentaux aux personnages. En revanche, lors d'une interaction verbale entre un enfant et sa mère, au cours d'une tâche collaborative où un but est à atteindre, il apparaît que les enfants et adolescents parlent relativement peu, ce qui est surprenant étant donné leur contact facile et leur sociabilité. De plus, les enfants et adolescents ont des difficultés à prendre place dans l'interaction. Ajoutons que les enfants expriment davantage leurs états psychologiques et sentiments que d'autres populations. Enfin, les enfants et adolescents répondent peu aux demandes de la mère indiquant un manque de coopération de la part des enfants ainsi que des difficultés de compréhension de ce qu'attend l'interlocuteur. Les travaux du laboratoire ont mis en évidence qu'au-delà d'un langage relativement préservé d'un point de vue structural, les aspects pragmatiques sont davantage déficitaires. En effet, les enfants et adolescents ont des difficultés à communiquer en situation d'interaction/de conversation : certaines de leurs capacités peuvent être considérées comme des points faibles (ex : adaptation à l'interlocuteur) ou bien comme des caractéristiques uniques que l'on ne retrouve pas dans d'autres populations (ex : expression « excessive » de sentiments ou d'états psychologiques subjectifs).

Une hyper sociabilité

Une autre particularité des personnes porteuses du SW est leur caractère hyper

Petite fille de 9 ans, porteuse du syndrome, en cours d'exercice de narration.

Lors d'une tâche de reproduction d'un modèle, les personnes porteuses du syndrome de Williams ont des difficultés à prendre en compte l'aspect global de la figure (ici, un grand carré composé de 4 cubes) et vont plutôt se centrer sur l'aspect local (chaque cube est considéré isolément). Ceci conduit très souvent à un alignement des cubes et indique leurs difficultés à traiter l'information visuelle en privilégiant les détails.

sociable. Elles initient facilement le contact avec les personnes inconnues et manifestent très souvent de la gaieté, de la joie de vivre. Cette hyper sociabilité est souvent considérée comme un point fort alors qu'elle comporte certaines limites et inconvénients. En effet, les personnes porteuses du SW sont malgré tout souvent décrites comme isolées socialement. Bien que les individus s'impliquent beaucoup socialement, leurs relations restent superficielles et ne leur permettent pas de nouer des liens amicaux durables. Au niveau comportemental, on observe également chez ces enfants une certaine hyperactivité, des comportements anxieux, une hypersensibilité aux bruits. D'autres troubles du comportement sont observés : l'irritabilité, l'impatience, la susceptibilité, la sensibilité aux problèmes d'autrui, les peurs, les obsessions concernant certains objets et sujets de conversations. Par ailleurs, les adultes porteurs du SW manifestent des oscillations de l'humeur et présentent des symptômes dépressifs.

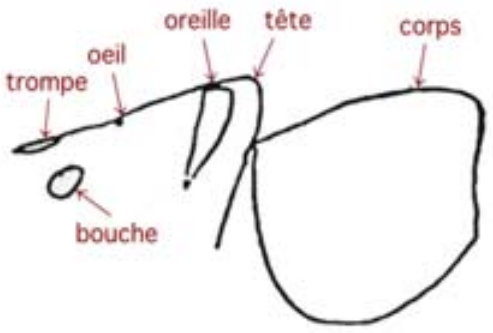
De nouvelles thérapies

Sur le plan thérapeutique, des recherches sont en cours pour tester des molécules capables de stimuler l'expression d'un gène manquant et essentiel au cours du développement (gène de l'élastine), afin de prévenir et corriger les malformations vasculaires des patients. Un suivi médical tout au long de la vie est nécessaire afin de surveiller l'évolution des divers problèmes médicaux mais aussi certaines pathologies comme le diabète, la surdité, la diminution osseuse qui apparaissent avec l'âge plus fréquemment chez les personnes porteuses du SW que chez les personnes typiques. Quant à la prise en charge éducative des enfants, elle doit se faire dans un cadre multidisciplinaire incluant psychomotricien, orthophoniste et psychologue.

Des collaborations

Le CeRCA travaille conjointement avec le service de génétique médicale du CHU de Poitiers, centre référent sur le syndrome de Williams a sein du « Centre de Référence des Anomalies du Développement Embryonnaire d'origine Génétique de l'Ouest » coordonné par le CHU de Rennes avec l'implication et la coopération des associations de parents au niveau régional et national.

De plus, afin de sensibiliser le grand public à ce syndrome, un premier film a été réalisé par le CeRCA « Pauline, des mots pour le dire » et diffusé lors de la Fête de la Science en octobre 2005. Toujours dans l'objectif de faire connaître le syndrome de Williams, le CeRCA a réalisé un second film « Syndrome de Williams » qui le décrit dans ses aspects médicaux et neuropsychologiques. Des spécialistes de ce syndrome (médecins, psychologues, chercheurs) ainsi que des familles témoignent sur les symptômes de ce syndrome ainsi que sur la question de la prise en charge et des apprentissages. Ce film est à destination des enseignants et formateurs de futurs professionnels de la santé (médecins, psychologues, éducateurs, orthophonistes) ainsi que des chercheurs. ■



« Qu'est-ce qu'un éléphant ? C'est un animal. Que fait un éléphant ? Il vit dans la jungle. Il peut aussi vivre dans un zoo. Et il a de longues oreilles grises, des oreilles en éventail, des oreilles qui battent dans le vent. Il a une longue trompe qui peut ramasse de l'herbe ou de la paille. Quand ils sont de mauvaise humeur, cela peut être terrible. Quand un éléphant se met en colère, il peut taper du pied ; il peut charger. Parfois, les éléphants chargent. Ils ont des défenses grosses et longues. Ils peuvent abîmer une voiture. Ils peuvent être dangereux. Quand ils sont menacés ou qu'ils se fâchent, cela peut être terrible. Vous ne voulez pas d'un éléphant comme animal de compagnie. Il vaut mieux avoir un chat, ou un chien, ou un oiseau ».

Dans cet exemple, un adolescent de 14 ans porteur du Syndrome de Williams dessine un éléphant, sa production est de faible qualité où les éléments sont difficilement identifiables. À l'opposé, sa description verbale est de bien meilleur niveau et fournit beaucoup d'informations sur les caractéristiques d'un éléphant. Ceci illustre la dissociation entre le langage (de bon niveau) et la cognition visuo-spatiale (de faible niveau).

Contact :
Agnès LACROIX
agnes.lacroix@uhb.fr

© Y. ALMÉCIJA

Elèves en train d'écrire sur une tablette graphique pendant qu'on leur diffuse des sons interférents (par le casque audio).

Elève écrivant sur une tablette graphique. Le logiciel Eye and Pen enregistre son écriture, ce qui permettra une analyse ultérieure de sa dynamique temporelle (vitesse, pauses etc.).

L'étude de l'écriture
et de son apprentissage

Face à l'irruption dans nos vies des nouveaux outils numériques, face au constat de difficultés croissantes dans l'acquisition de l'écrit normé (en orthographe et en grammaire notamment), la recherche s'intéresse désormais à l'acte même, si simple en apparence, de l'écriture. Les chercheurs concernés sont les psychologues cognitivistes, les psycholinguistes, les didacticiens, les sociologues, les linguistes, …

Chez l'écrivain (le rédacteur « super-expert » en langage de psychologie et de cognition), on étudie, pour essayer de mieux le comprendre, le critère de la « créativité ». Chez le rédacteur « ordinaire » on étudie également le travail au long cours. A six ans, un enfant entre dans la graphomotricité avec l'écriture cursive, et pour cela il doit désapprendre l'écriture « horaire » (en grande section de maternelle, on écrit généralement dans le sens des aiguilles d'une montre…). À partir de 15 ans, on écrit comme à l'âge adulte.
Deux questions cruciales se posent : l'écriture peut-elle s'apprendre de façon implicite ? Quel rôle joue exactement l'environnement ?

L'arrivée des nouvelles technologies d'écriture, notamment les tablettes écran ou les supports numériques redonnent la part belle au stylet et à l'écriture manuscrite. On peut s'interroger sur les conséquences possibles de ces nouveaux outils sur l'apprentissage de l'écriture chez le jeune enfant. Le fait d'écrire sur le support incliné d'une tablette électronique, que l'écran soit plus lisse qu'une feuille de papier modifie-t-il l'acquisition de la graphomotricité ? Des recherches récentes semblent montrer que l'écriture sur une tablette inclinée facilite le geste graphique (une orientation 30° comme les moines copistes du Moyen Âge »…) ainsi que les surfaces rugueuses permettent à l'apprenti un meilleur contrôle de son geste.

De nouvelles techniques d'expérimentation

L'enregistrement des pauses et débits d'écriture associé à l'enregistrement des mouvements oculaires permet d'explorer la « chronométrie mentale » qui sous-tend la graphomotricité (c'est-à-dire la maîtrise du tracé) et la réflexion de l'enfant face au problème de l'orthographe et de la rédaction. De nouveaux outils d'évaluation devraient rapidement voir le jour.
Un programme sur trois ans de « classe numérique » vient d'être lancé dans la région Poitou-Charentes afin d'évaluer, pour chaque élève en situation ordinaire de classe, l'acquisition du geste graphique et de l'orthographe pour étudier précisément le lien entre les deux. Le dispositif est un ordinateur portable associé à une tablette graphique par élève, le tout centralisé par le maître. Il s'agit de réfléchir, tout en apportant des arguments scientifiques, à la façon dont on pourra, demain, évaluer les élèves afin d'aider

>> Pour en savoir plus :
wwww.eyeandpen.net

les enseignants dans leur compréhension des difficultés d'apprentissage et dans leur accompagnement pédagogique.
Grâce à la constitution d'une Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technologique piloté par le CerCA et à la mise en réseau des travaux menés dans toute l'Europe, les recherches connaissent actuellement des avancées remarquables. On sait désormais que les méthodes à venir devront prendre en compte trois niveaux : la maîtrise de l'outil, de l'orthographe et de la langue.

Analyser les mouvements de l'œil au cours de l'écriture

Le logiciel « Eye and Pen » permet d'enregistrer et d'analyser en temps réel les mouvements oculaires des rédacteurs, pendant qu'ils écrivent ou effectuent des pauses de réflexion. Identifier précisément la nature des informations regardées pendant l'écriture fournit aux chercheurs en sciences cognitives des indications précieuses sur le déroulement des mécanismes psychologiques impliqués dans la production de documents écrits. Des études menées auprès d'écrivains et de rédacteurs professionnels vont permettre de mieux comprendre comment l'expertise de l'écriture s'acquiert et se développe. Chez les enfants, l'apprentissage de l'orthographe, et les difficultés associées, vont pouvoir être précisées. Les applications pédagogiques et ergonomiques sont nombreuses.

Comprendre le fonctionnement de l'écrit et de sa dynamique

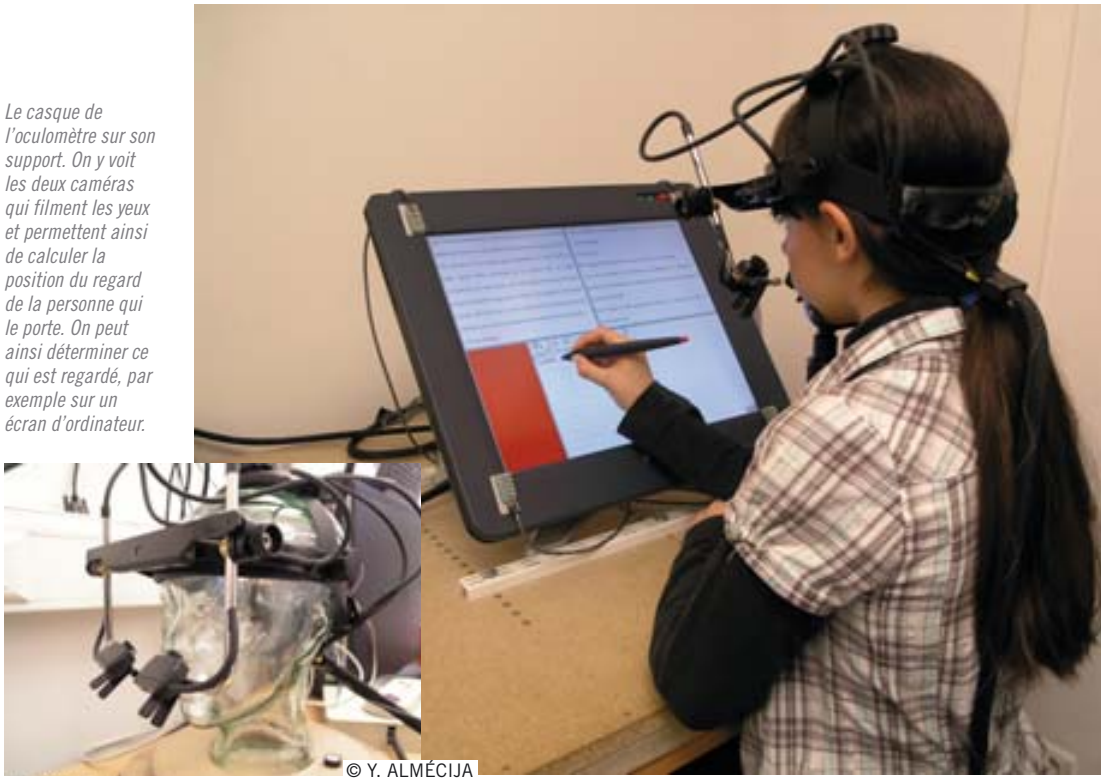
Le langage écrit est une forme d'expression universelle et de plus en plus présente avec les nouvelles technologies de l'information. Écrire est une activité humaine particulièrement complexe. Il faut élaborer un propos cohérent, le formuler en respectant les règles de la langue (grammaire, orthographe) tout en veillant à sa clarté pour le lecteur. Être capable de conduire et coordonner dans le temps ces différentes activités mentales est souvent le signe d'une maîtrise experte de l'écriture. Pour le chercheur en sciences cognitives, mettre en évidence les règles de mise en œuvre et d'enchaînement de ces processus mentaux est essentiel pour comprendre le fonctionnement de l'écrit et de sa dynamique. Le logiciel « Eye and Pen » a été mis au point pour atteindre cet objectif. « Eye and Pen » consiste à coupler le signal issu d'une tablette à digitaliser sur laquelle on écrit (coordonnées — état du crayon) avec le signal issu d'un oculomètre (coordonnées du regard sur l'espace de travail). La conjonction des deux signaux permet d'étudier les phénomènes de synchronisation entre les déplacements de l'œil et du crayon pendant les périodes de pauses et d'écriture. Il devient alors possible d'étudier le contrôle visuel du geste d'écriture ; les (re) lectures de ses propres écrits afin de les modifier, ou les prises d'information dans des sources documentaires en vu de les résumer, les synthétiser.
Le logiciel joue le rôle d'un véritable magnétoscope numérique qui permet au chercheur de visualiser et jouer et rejouer à volonté la formation de l'écriture et les mouvements associés de l'œil. Un système de codage semi-automatisé permet d'isoler les événements oculaires et graphomoteurs.

Plusieurs domaines d'application sont d'ores et déjà à l'étude. Sur le plan clinique, « Eye and Pen » peut représenter à terme un outil d'aide au diagnostic de troubles de l'écriture (dyspraxie, dysorthographie) chez des enfants ou chez des adultes (cérébrolésés, par exemple). Sur le plan de l'ergonomie, le logiciel permet d'analyser finement les stratégies visuelles de navigation dans des interfaces et des logiciels faisant appel au stylet (comme les PDA et les tablettes écrans) ou encore d'améliorer les outils et l'espace de travail des rédacteurs professionnels (élaboration des notices techniques, etc.). ■

Contact : Denis ALAMARGOT
Denis. Alamargot@univ-poitiers.fr

Elève écrivant sur tablette graphique à cristaux liquides. Les mouvements de ses yeux sont enregistrés et seront mis en relations avec les mouvements de son crayon: on peut ainsi analyser ce qui est simultanément regardé et écrit.

Le casque de l'oculomètre sur son support. On y voit les deux caméras qui filment les yeux et permettent ainsi de calculer la position du regard de la personne qui le porte. On peut ainsi déterminer ce qui est regardé, par exemple sur un écran d'ordinateur.



© Y. ALMÉCIJA

Les médias
des minorités ethniques

Tout en s'affichant comme le porte-parole de leur communauté, les médias des minorités ethniques et tout particulièrement ceux qui investissent l'échelle locale, développent des stratégies de (re)construction du lien social. Leur approche est centrée sur la valorisation des différentes cultures, l'accès aux droits et la participation à la vie sociale.

Non seulement le média informe mais il participe à la mise en relation de différents groupes sur un même territoire, en dépit des difficultés de cohabitation. Il constitue un lieu fédérateur capable de créer un nouveau maillage social, de dépasser l'« entre-soi » en permettant l'existence d'une certaine porosité entre les groupes sociaux et la confrontation des idées. Il peut également se positionner comme un acteur de médiation institutionnelle locale, en se faisant l'écho des stratégies locales. Analyser le développement des médias des minorités ethniques et comprendre les enjeux qui les sous-tendent revient à décrypter les relations interculturelles et interreligieuses à l'œuvre dans nos sociétés contemporaines.

Par médias des minorités ethniques, sont entendues la presse écrite, la radio et la télévision créées par et pour les personnes issues de l'immigration et/ou les minorités nationales, et diffusées au moyen de divers supports (diffusion papier, hertzienne, câblée, satellitaire, Internet).

Un programme de recherche européen

Le laboratoire MIGRINTER (Migrations internationales, espaces et sociétés – unité mixte de recherches CNRS-Université de Poitiers) accueille le projet de recherche MINORITYMEDIA, financé par l'Union européenne pour une durée de 4 ans (2006-2010). Il est animé par une équipe scientifique pluridisciplinaire de sociologues, anthropologues, politologues, géographes, historiens et spécialistes en sciences de l'information et de la communication. Leurs objectifs sont de comprendre les processus d'identification et d'appartenances (religieuses, politiques, ethniques, nationales) ; de contribuer à une cartographie du champ médiatique ethnique en Europe ; d'évaluer si et en quoi les médias des minorités ethniques sont différents des médias dominants ; d'analyser les différentes étapes de la fabrication de l'information et mesurer ainsi l'importance de celle-ci en matière de production de sens.

Cette recherche porte sur les médias des minorités ethniques dans 8 pays européens (Allemagne, Espagne, France, Grande-Bretagne, Hongrie, Italie, Pays-Bas, Turquie) qui sont à la fois des pays d'immigration ancienne, des pays d'immigration récente et des pays abritant des minorités nationales importantes.

Des milliers de médias

Au terme des deux premières années de recherche, l'équipe a recensé plusieurs

milliers de médias des minorités ethniques, dont près de 1 000 en France. Un véritable marché des médias des minorités ethniques s'est développé dans l'espace européen. Il ne s'agit pas d'un phénomène nouveau – les premiers titres de presse écrite ethnique sont apparus au XIX[e] siècle en France, avec le développement de l'immigration – mais plutôt d'un phénomène en expansion. L'accès aux nouvelles technologies de l'information et de la communication a permis un boom médiatique considérable pour les médias ethniques. Disposant généralement de peu de moyens humains et financiers, nombre d'entre eux ont profité de la popularisation d'Internet pour se développer à moindre coût, disposer d'une plus grande flexibilité et s'assurer une diffusion plus large.

La création de répertoires

Ce travail de recensement a donné lieu d'une part à l'élaboration de répertoires des médias des minorités ethniques dans chacun des 8 pays de l'étude, ainsi qu'à deux répertoires spécifiques consacrés l'un aux médias roms et l'autre aux médias afro-caribéens en Europe. Ces répertoires constituent des outils destinés tant aux professionnels, aux décideurs politiques, au secteur associatif, qu'à l'ensemble du public. D'autre part, un ouvrage synthèse entend présenter les grandes tendances de ce paysage médiatique ainsi que leurs effets sur les sociétés européennes contemporaines. En effet, cette recherche comporte des implications immédiates pour nos sociétés. Tandis que la représentation des minorités est devenue l'une des questions clé du débat socio-politique et démocratique en Europe, les pays d'immigration européens doivent faire face aux mobilisations multiformes de groupes culturels ou religieux.

Dans ce contexte, il s'agit de sensibiliser les opinions publiques à la question de la diversité ethnique et religieuse en montrant combien il est important et comment il est possible de porter le débat sur les minorités hors des arènes politiques. Comment dépassionner la question pour mieux l'appréhender au quotidien, dans nos villes, dans nos quartiers, dans nos villages et dans nos campagnes. Aujourd'hui, il y a urgence à intégrer les médias des minorités ethniques à la problématique de la citoyenneté, de la représentation et des discriminations. ■

Contact :
Isabelle RIGONI
isabelle.rigoni@univ-poitiers.fr

exposition

LES INSECTES BÂTISSEURS

14 juin 2008 **au 8 février** 2009

MUSEUM de TOURS

http://irbi.univ-tours.fr/expoWeb/ExpoInsectesBatisseurs.htm

Centre Sciences

Ville de Tours

Région Centre