



# PRISME

- UNIR & INNOVER -

N°8

JANVIER 2019

FÊTE

DE LA

SCIENCE



Normandie Université

## GRAND ANGLE

### CONFÉRENCE | P. 3

- Mémoire du futur

### PORTES OUVERTES | P. 4 - 6

- Une porte ouverte sur les sociétés du passé
- Cancérologie: les progrès de l'imagerie médicale
- L'environnement sous haute surveillance

### CAMPUS EN FÊTE | P. 7 - 10

- « Le lien social est l'un des facteurs de réussite de la thèse »
- Le plancton, source de vie
- Capacités du cerveau: l'homme, un animal comme les autres !
- Le cartilage et ses maladies: l'épigénétique en question

## REGARD SUR L'ACTU

P. 11 - 12

- Tapisserie de Bayeux: l'œuvre millénaire, version numérique



UNICAEN

UNICAEN | UNIVERSITÉ DE CAEN NORMANDIE

# FÊTE DE LA SCIENCE

Conférences, rencontres,  
portes ouvertes de laboratoires,  
ateliers...

La Fête de la science :  
un événement désormais  
incontournable pour l'université !  
Ce numéro donne un aperçu, loin  
d'être exhaustif, d'actions menées  
par les acteurs de la recherche UNICAEN  
sur différents campus universitaires

Pour rendre la science  
accessible à toutes & tous

Pour que mûrissent  
notre raisonnement  
& notre regard sur  
le monde

# MÉMOIRE DU FUTUR

**NIMH** · Neuropsychologie  
& imagerie de la mémoire  
humaine

UMR-S 1077  
UNICAEN-EPHE-INSERM

## LA MÉMOIRE DU FUTUR AUX PRISES AVEC LES MÉMOIRES NUMÉRIQUES

AUTOUR de Francis Eustache, Jean-Gabriel Ganascia & Bernard Stiegler — débats animés par Géraldine Rauchs, chargée de recherche INSERM — un événement grand public organisé en partenariat avec l'Observatoire B2V des Mémoires et Le Dôme le 9 octobre 2018

RETROUVEZ la conférence en vidéo  
sur notre chaîne Youtube UNICAEN

« La mémoire du futur aux prises avec les mémoires numériques » :  
c'est le thème de la conférence inaugurale organisée le 9 octobre 2018  
autour de Francis Eustache, Jean-Gabriel Ganascia et Bernard Stiegler,  
un événement grand public offrant un regard croisé entre neurosciences,  
informatique et philosophie sur le lien que nous entretenons avec nos souvenirs.  
— Francis Eustache, ambassadeur de la Fête de la science Caen Normandie,  
revient sur le concept de mémoire du futur, composante essentielle de la mémoire.

### LA MÉMOIRE DU FUTUR... UN OXYMORE ?

Francis Eustache: On pourrait le penser car on associe généralement mémoire et passé. De par ses fonctions de stockage et de récupération de l'information, la mémoire semble tournée vers le passé. Et pourtant, la mémoire se projette vers le futur. Si elle se nourrit de nos souvenirs, de nos connaissances et de nos apprentissages, c'est pour mieux guider nos choix, nos actions et nos décisions. Tout porte à croire qu'au cours de l'évolution, la mémoire s'est structurée pour que nous puissions nous adapter à notre environnement, nous protéger et anticiper les dangers. La mémoire est intrinsèquement orientée vers le futur. Si vous recevez une invitation à un mariage, en fonction des renseignements dont vous disposez et des expériences que vous avez déjà vécues, vous allez vous imaginer cet événement et vous projeter pendant. La mémoire du futur, c'est la voie ouverte sur l'imagination et la créativité. Elle permet d'envisager différents scénarios, de simuler des situations et de faire des suppositions, plus ou moins vraisemblables: c'est elle qui, au quotidien, donne le cap.

### LE CONCEPT EST-IL RÉCENT ?

F. E.: Le concept est récent en effet, mais s'appuie sur les grandes avancées, depuis une trentaine d'années, dans les domaines de la neuropsychologie et des neurosciences cognitives. Dans les années 1980, les travaux de recherche menés à l'université de Toronto par Endel Turving auprès de patients amnésiques ont bouleversé notre compréhension du fonctionnement de la mémoire, ouvrant la voie à de nouvelles thématiques de recherche. Ces travaux démontraient déjà, à l'époque, que certains patients amnésiques ne parviennent à se projeter ni dans le passé ni dans le futur — et ce, alors même qu'ils maîtrisent parfaitement les concepts de temps. Si je reprends l'exemple de l'invitation à un mariage, les patients atteints d'amnésie savent ce que cet événement représente et ils savent qu'il se déroulera prochainement. Pour autant, ils ne sont pas en mesure de se projeter mentalement dans cette situation: ils ne se voient pas dans un mariage.

La mémoire du futur ne constitue pas un système à part entière, au même titre que la mémoire de travail, la mémoire sémantique, la mémoire épisodique, la mémoire procédurale et la mémoire perceptive. Elle puise dans chacun de ces systèmes pour récupérer des connaissances générales, des souvenirs personnels, des procédures, ou encore des sentiments. L'exploration de la mémoire du futur est devenue une préoccupation majeure des neurosciences ces dix dernières années. Les progrès de l'imagerie cérébrale ont permis de mettre en évidence les régions cérébrales impliquées. Une étude conduite en 2007 par Armelle Viard, qui était à l'époque doctorante au sein de l'unité NIMH que je dirige, a démontré que des circuits cérébraux similaires sont activés tant dans la récupération de souvenirs personnels que dans la projection d'événements futurs. Ces réseaux communs permettent un voyage mental dans le temps entre passé, présent et futur, ce qui tend à expliquer les difficultés des personnes souffrant d'amnésie à se projeter: nous avons besoin de notre passé pour anticiper l'avenir.

### LE LIVRE LA MÉMOIRE AU FUTUR QUE VOUS AVEZ CO-ÉCRIT, INSISTE SUR LA FRAGILITÉ DE CETTE MÉMOIRE...

F. E.: La mémoire au futur est le fruit des réflexions qui ont émergé lors d'un séminaire organisé par l'Observatoire B2V des mémoires. Chaque année en effet, depuis 2014, les sept membres du Conseil scientifique de l'Observatoire se réunissent pour discuter et échanger sur un thème donné, dans une perspective pluridisciplinaire. Les débats ont fait émerger une inquiétude quant à l'utilisation inconsidérée des technologies de l'information et de la communication. Si l'évolution des technologies numériques est une chance pour l'accès à la connaissance, leur impact sur notre mémoire est encore difficile à mesurer et à analyser. Ces mémoires dites externes sont indispensables mais il est important de maintenir un équilibre suffisant pour qu'elles n'affaiblissent pas notre mémoire. Il ne s'agit pas de se montrer catastrophiste, mais il est important que la recherche se saisisse de ces sujets et qu'un débat soit lancé.

## UNE PORTE OUVERTE SUR LES SOCIÉTÉS DU PASSÉ



*Le CRAHAM a ouvert ses portes au public pour la troisième année consécutive à l'occasion de la Fête de la science. Au programme : neuf ateliers pour aller à la rencontre des archéologues, archéomaticiens, céramologues, philologues, historiens, numismates qui, forts de leurs spécialités propres, œuvrent ensemble à une meilleure compréhension des sociétés du passé.*  
— Le point avec Thierry Buquet et Micaël Allainguillaume.

### QUEL ÉTAIT LE PROGRAMME DE CES NOUVELLES PORTES OUVERTES ?

Thierry Buquet : Des parcours d'une durée de deux heures environ étaient proposés aux visiteurs. L'objectif : faire découvrir les métiers de la recherche en histoire et en archéologie. Il s'agissait, dans un premier temps, de présenter les différentes techniques utilisées au sein du laboratoire pour analyser les traces matérielles parvenues jusqu'à nous aujourd'hui – des traces qui en disent long sur les modes de vie d'autrefois. L'atelier « Histoire d'os, de la tombe au laboratoire » proposait de manipuler des ossements et des dents humaines afin d'appréhender la cémentochronologie et l'ostéométrie – deux méthodes permettant d'estimer l'âge des individus à leur mort et de déterminer le sexe. Les sépultures sont parfois les seules traces qui nous parviennent des sociétés anciennes : l'analyse des ossements apporte des informations précieuses sur les conditions de vie des sociétés du passé – nature de l'alimentation, carences nutritionnelles, maladies... L'atelier « Vaisselle et toiture sortent de terre » présentait les techniques d'archéométrie utilisées pour faire parler des fragments d'objets : les analyses physiques et chimiques effectuées en laboratoire donnent des clés d'interprétation sur la provenance, la date ou encore la fonction des objets anciens. Le service d'archéomatique proposait, quant à lui, un atelier autour des « Pavés du Moyen Âge en Normandie et leur décoration » mettant en avant les outils informatiques utilisés au service de l'interprétation des pièces archéologiques. C'est enfin le métier de numismate que l'atelier « Voir, lire et comprendre les pièces de monnaie » proposait de découvrir, du

nettoyage jusqu'à l'analyse des pièces de monnaie. La numismatique, c'est l'étude des dynamiques de circulation monétaire à travers les siècles : les visiteurs ont pu manipuler d'authentiques pièces issues des collections du CRAHAM et devaient, grâce aux ouvrages de référence à disposition, chercher les indices permettant d'estimer leur origine et leur date d'émission.

### LES PARCOURS DE VISITE PROPOSAIENT ÉGALEMENT DES ATELIERS EN HISTOIRE ET PHILOGIE.

Micaël Allainguillaume : Oui, les parcours de visite comprenaient tous un atelier en archéologie associé à un atelier en histoire et philologie. Nous souhaitons ainsi mettre en avant la diversité des recherches menées au CRAHAM, qui réunit 150 membres de différentes disciplines. L'idée était également de montrer le caractère interdisciplinaire de notre projet scientifique, fondé à fois sur le travail de fouilles de terrain et sur les études de textes anciens. L'atelier « Si tu veux savoir la profondeur de la mer et lire l'heure aux étoiles... » présentait un manuscrit du XII<sup>e</sup> siècle provenant de l'abbaye du Mont-Saint-Michel qui donne à voir l'intérêt des clercs pour l'astronomie, les mathématiques et la géométrie. Les visiteurs étaient invités à tester eux-mêmes les instruments de mesure imaginés à cette époque. L'atelier « Cuisine romaine, cuisine barbare » proposait de suivre le travail d'un chercheur spécialiste de l'histoire de l'alimentation autour de l'étude d'une recette de cuisine datant du VI<sup>e</sup> siècle, de l'étude du contexte historique jusqu'à la traduction du texte en français moderne. Une grande place était égale-

**CRAHAM**  
**CENTRE MICHEL DE BOÛARD**  
Centre de recherches archéologiques  
et historiques anciennes et médiévales

UMR 6273 UNICAEN-CNRS

ment laissée à la présentation du travail d'édition de textes. « La charte médiévale dans tous ses états » montrait les formes de reproduction et de diffusion d'actes médiévaux, de l'écriture originale jusqu'à la numérisation sur des bases de données accessibles à tous. L'atelier « les Normands, conquérants de la Sicile » présentait le travail de recherche autour de l'édition et de la traduction de la chronique de Geoffroi Malaterra, qui relate la conquête de 1091. L'atelier « La représentation des Barbares sur les monnaies romaines à la fin de l'Antiquité » proposait, quant à lui, d'analyser les pièces de monnaie en tant que véritables « tracts » porteurs de messages tant dans les provinces romaines que dans les contrées extérieures à l'empire.

### POURQUOI PARTICIPER À UNE TELLE MANIFESTATION ?

T. B. : Pour aller à la rencontre d'un très large public ! Nous avons accueilli plus de 300 personnes sur les trois dernières éditions de la Fête de la science, sans compter les publics scolaires. Nous proposons chaque année un questionnaire de satisfaction : les remarques qui sont formulées nous permettent d'améliorer le contenu des ateliers. La vulgarisation est un défi intéressant puisqu'il nécessite de prendre du recul sur nos propres pratiques. 17 membres du CRAHAM se sont prêtés au jeu cette année. Mais surtout, les occasions de mobiliser des doctorants, post-doctorants, chercheurs, enseignants-chercheurs, techniciens et ingénieurs de recherche de toute discipline autour d'un projet commun sont rares à l'échelle du laboratoire. La Fête de la science en est une.

## CANCÉROLOGIE

# PROGRÈS EN IMAGERIE MÉDICALE

*L'imagerie médicale ne cesse de se perfectionner au service d'une meilleure compréhension des maladies. Au sein de la plateforme Cyceron, une équipe de chercheurs de l'unité ISTCT met au point de nouvelles méthodes d'imagerie médicale pour permettre un diagnostic précis des tumeurs cancéreuses.*

*— Portrait de l'équipe LDM-TEP · Laboratoire de développements méthodologiques en tomographie par émission de positons.*

### LE CANCER POUR CIBLE

LDM-TEP appartient à l'ISTCT – une unité de recherche qui vise à développer des stratégies diagnostiques et thérapeutiques innovantes dans les domaines de l'oncologie et de la neurologie. L'équipe s'intéresse plus spécifiquement à l'imagerie médicale par Tomographie par émission de positons TEP, pour la détection des tumeurs cancéreuses. Cette technique figure parmi les méthodes les plus sensibles : elle consiste à administrer au patient un produit dit « radiopharmaceutique » ou « médicament radioactif », capable de cibler les cellules cancéreuses pour mieux les révéler. C'est une technique d'imagerie nucléaire incontournable dans le diagnostic et le suivi thérapeutique des cancers, et qui repose sur des compétences multidisciplinaires en chimie, radiochimie, pharmacologie et imagerie pour l'élaboration de radiopharmaceutiques adaptés aux pathologies visées.

### VERS DES DIAGNOSTICS TOUJOURS PLUS PERSONNALISÉS

La TEP s'appuie sur l'injection, par voie intraveineuse, d'un radiopharmaceutique, marqué le plus souvent avec un atome de fluor-18 radioactif émetteur de positons. Le FDG – un radiopharmaceutique utilisé fréquemment en routine clinique – a la particularité de s'accumuler dans les cellules cancéreuses consommatrices d'énergie. Après détection des rayonnements émis, le traitement informatique permet d'obtenir des images 3D révélant l'organe ou le tissu pathologique ciblé. Cet examen d'imagerie offre ainsi des informations sur la taille d'une tumeur cancéreuse, sa forme, son activité métabolique et sa localisation exacte – des informations précieuses pour établir un diagnostic qui doit être le plus précis possible, afin d'orienter les cliniciens vers le traitement le plus adapté au patient. Le FDG convient parfaitement pour un premier bilan clinique, mais sa sensibilité est encore insuffisante lorsqu'il s'agit d'obtenir un diagnostic et un suivi de traitement spécifiques. C'est pourquoi l'équipe LDM-TEP cherche à concevoir, développer et produire de nouveaux radiopharmaceutiques pour l'imagerie médicale. Des recherches méthodologiques sont menées

pour mettre au point de nouveaux procédés de fabrication permettant d'incorporer facilement les éléments radioactifs dans des molécules d'intérêt.

La manipulation d'éléments radioactifs est un processus complexe et strictement encadré. La radioactivité décroît rapidement : le produit radiopharmaceutique ne reste radioactif que le temps de l'examen d'imagerie médicale. L'unité dispose ainsi d'équipements pour produire les radiopharmaceutiques sur place, au sein de la plateforme Cyceron, dans de strictes conditions d'hygiène et de sécurité. LDM-TEP est une équipe pluridisciplinaire composée de cyclotronistes, de radiochimistes et de biologistes, qui maîtrisent, grâce aux collaborations avec les équipes médicales, la chaîne complète – de la production à l'injection chez l'homme. Outre les recherches méthodologiques, des recherches pré-cliniques et cliniques sont également menées pour vérifier l'efficacité et la non-toxicité des radiopharmaceutiques. L'objectif est en effet d'aboutir à une administration chez l'homme par une recherche translationnelle dite « de la molécule au lit du patient » et « de la radiochimie fondamentale aux applications biomédicales ».

### DU LABORATOIRE À LA CLINIQUE

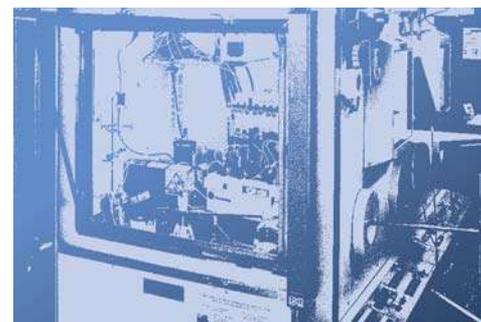
Des études sont en cours actuellement sur deux radiopharmaceutiques issus du laboratoire. L'un d'eux, la [18F] Fludarabine, cible plus spécifiquement les lymphomes. La [18F] Fludarabine est le fruit de dix années de recherche – dix années pour le mettre au point, le produire en quantité suffisante, et le valider par des études pré-cliniques. Un travail de longue haleine, mais les résultats sont prometteurs : son efficacité a été démontrée à différentes étapes de la prise en charge du lymphome, du diagnostic au suivi du traitement. Une première étude clinique, coordonnée par la Délégation à la recherche clinique et à l'innovation, a été menée au CHU de Caen Normandie auprès d'une dizaine de patients suivis à l'Institut d'hématologie de Basse-Normandie. Ces premiers travaux ont été reconnus, sur le plan international comme l'une des 10 découvertes majeures en cancérologie de l'année 2016 par la société savante World Molecular Imaging Society · WMIS. La [18F] Fludarabine est

**ISTCT** · Imagerie & stratégies thérapeutiques des pathologies cérébrales & tumorales

UMR UNICAEN-CEA-CNRS

aujourd'hui en cours d'essai clinique au sein des CHU de Caen, Créteil, Dijon, Nantes, et Tours, sous la coordination du professeur Gandhi Damaj et des équipes hospitalières caennaises.

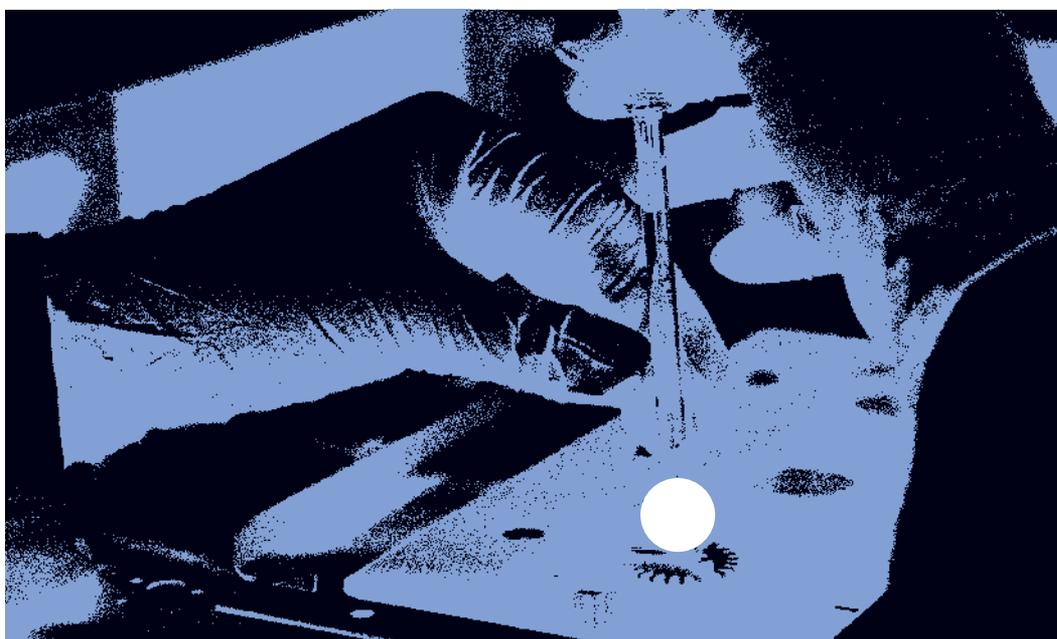
Le [18F] Flusonim a, quant à lui, démontré des performances inégalées pour le marquage de l'hypoxie – un phénomène de déficit d'oxygène dans le sang, caractéristique de nombreux cancers. Le [18F] Flusonim s'appuie sur une nouvelle stratégie de radiochimie permettant d'optimiser les radiopharmaceutiques existants. Un brevet a été déposé. Prochaine étape : conduire l'ensemble des études cliniques réglementaires indispensables avant une éventuelle mise sur le marché.



À l'occasion de la Fête de la science, Cyceron a ouvert ses portes avec un programme de visites et de conférences donnant un aperçu des recherches menées sur la plateforme d'imagerie biomédicale. Les avancées scientifiques de l'équipe LDM-TEP ont été présentées à un très large public lors de la conférence « La chimie au cœur de l'innovation en imagerie médicale » – l'occasion de souligner le rôle de la chimie dans la mise au point de ces nouvelles méthodes d'imagerie médicale.

## ENVIRONNEMENT

### SOUS HAUTE SURVEILLANCE



*Quels sont les polluants présents dans l'environnement ? En quelle quantité ? Par quels phénomènes sont-ils transférés dans les sédiments, les sols, les plantes, les fruits et les légumes ? Au sein de l'unité de recherche ABTE, une équipe de chercheurs scrute la qualité de notre environnement. Le laboratoire a ouvert ses portes à l'occasion de la Fête de la science. — Rencontre avec Jérôme Ledauphin, chimiste analyste spécialisé dans le domaine de l'écotoxicologie.*

**ABTE** - Aliments, bioprocédés, toxicologie, environnements

EA 4651 UNICAEN-université de Rouen Normandie

#### QU'EST-CE QUE L'ÉCOTOXICOLOGIE ?

Jérôme Ledauphin : Notre objectif, c'est l'étude des polluants présents dans les sols, les sédiments et les végétaux. L'écotoxicologie est l'une des thématiques portées par l'équipe ECOTEA – une équipe de l'unité de recherche ABTE, dont le projet scientifique est basé sur un constat : celui d'une dégradation continue de l'environnement sous l'impact des activités humaines. Nous recherchons d'une part les traces de pollution métallique, qui peuvent provenir de différentes sources – rejets industriels, épandages, etc. Les métaux ne sont pas biodégradables. Parmi eux, le cadmium, le mercure ou encore le plomb, que l'on qualifie de « métaux lourds », sont fortement toxiques. Nous regardons également la pollution organique, et plus particulièrement celle concernant les hydrocarbures aromatiques, qui existent à l'état naturel dans le charbon et le pétrole. L'émission de ces hydrocarbures aromatiques est due aux systèmes de chauffage à combustion – fioul, gaz ou bois –, au trafic automobile ou, éventuellement, à des phénomènes naturels d'éruption volcanique et de feux de forêts. Ces polluants sont très suivis et surveillés, mais il existe une grande variété d'hydrocarbures aromatiques : il reste donc encore beaucoup de choses à apprendre sur leur comportement.

#### VOUS TRAVAILLEZ NOTAMMENT SUR LA POMME, UN PRODUIT EMBLÉMATIQUE DE NOTRE RÉGION...

J. L. : Nous étudions les modalités de transferts des polluants présents dans l'environnement : comment ces polluants apparaissent, s'introduisent et circulent-ils dans l'air et dans les sols, vers et à l'intérieur même des végétaux ? Nos cibles actuelles sont les plantes et les fruits et nous avons en effet beaucoup travaillé sur la pomme, qui est un modèle

d'étude intéressant. Dans le cadre de la thèse d'Alice Paris, encadrée par Jean-Luc Gaillard et moi-même, sur les polluants de type hydrocarbures aromatiques, nous avons prélevé des pommes dans une quinzaine d'endroits de l'agglomération de Caen, Saint-Lô et Vire, dans des espaces urbains, périurbains et ruraux, des zones de reliefs, ou encore à proximité de grands axes routiers. L'objectif : estimer le degré de contamination de ces fruits exposés au quotidien à différentes quantités de polluants environnementaux. Pour ce qui est des pommes que nous avons étudiées, les analyses de caractérisations physico-chimiques effectuées en laboratoire ont révélé le rôle de protection joué par la peau face aux hydrocarbures aromatiques. La peau forme une barrière : elle capte ces polluants et les piège, limitant ainsi leur transfert vers la chair. Comprendre les mécanismes en jeu est essentiel pour prévenir des accumulations de particules potentiellement néfastes pour l'environnement, et donc pour l'homme.

#### UNE FOIS LES BILANS DE PRÉSENCE EFFECTUÉS, PEUT-ON METTRE EN PLACE DES PROCÉDÉS DE DÉPOLLUTION DES SOLS OU DE VALORISATION DES SÉDIMENTS CONTAMINÉS ?

J. L. : Oui, et c'est ce qu'on appelle les écoprocédés ! La solution pour la réhabilitation des sols contaminés pourrait venir... des champignons ! Une thèse de doctorat co-dirigée par Fabienne Baraud et Lydia Reinert, collègues de l'équipe de recherche, porte actuellement sur la capacité de certains champignons à capter et à absorber le cuivre, le cadmium et le plomb présents dans les sols. Forts de cette expertise sur les transferts de polluants dans l'environnement, nous avons été sollicités pour participer à divers projets de valorisation. Entre 2010 et 2013, le projet européen SETARMS s'est penché sur la gestion des

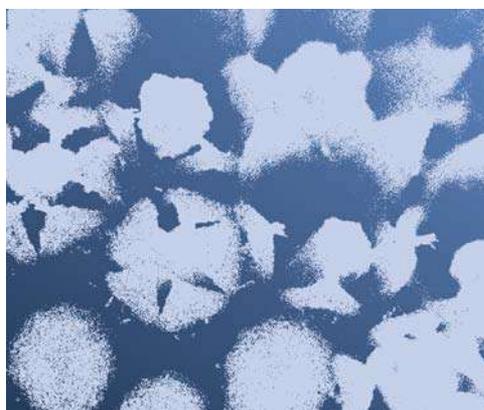
sédiments de dragage portuaire. Les opérations de dragage d'entretien sont indispensables pour prévenir l'envasement des ports. Mais de telles opérations génèrent d'importantes quantités de sédiments qu'il convient de gérer de façon adaptée, d'autant que les réglementations sur leur relargage en mer se sont durcies. Ce projet coordonné par l'Association des ports locaux de la Manche - APLM et regroupant plusieurs partenaires franco-britanniques, visait à trouver des solutions innovantes et durables pour offrir une seconde vie aux sédiments portuaires. L'option étudiée était une utilisation de ces sédiments à des fins de constructions routières. Il s'agissait ainsi de contrôler leur teneur en métaux et de mener des études d'impact à long terme sur l'environnement. Dans la même optique, le programme SEDIBRIC, porté par le Grand port maritime du Havre, s'intéresse actuellement à l'utilisation de sédiments pour la fabrication de briques et de tuiles en terre cuite. De même, il s'agit de vérifier le degré de transfert vers l'environnement, en cas de pluie notamment. Nous disposons des moyens d'analyse nécessaires pour surveiller la concentration des polluants et évaluer leur impact potentiel sur l'environnement. Finalement, les écotoxicologues sont, en quelque sorte, les « experts » de scènes de crimes environnementales !

## « LE LIEN SOCIAL EST L'UN DES FACTEURS DE RÉUSSITE DE LA THÈSE »

*Les doctorants et doctorantes OPTIC se mobilisent chaque année lors de la Fête de la science pour sensibiliser le grand public à la culture scientifique. — Hans Lone Sang, doctorant en physiologie végétale et secrétaire de l'association OPTIC, nous dit tout sur les engagements et les missions de l'association, dont le dynamisme n'est plus à démontrer.*

### L'ASSOCIATION OPTIC, C'EST QUOI ?

Hans Lone Sang : L'association OPTIC regroupe des jeunes chercheurs en physique, mathématiques, chimie, informatique, matériaux, santé et biologie de l'université de Caen Normandie. L'objectif est de créer un réseau de doctorants pour favoriser les rencontres, les interactions et les échanges. Le lien social est l'un des facteurs de réussite de la thèse. C'est à ce titre que nous avons organisé la journée des écoles doctorales normandes PSIME et MIIS\* le 26 avril dernier à Caen. Les événements de cette nature constituent parfois l'occasion, pour les doctorants, de participer à leur première manifestation scientifique : il s'agit donc d'une opportunité intéressante de présenter l'état d'avancement de leurs travaux de recherche dans une atmosphère bienveillante. Nous préparons actuellement l'organisation des journées de l'école doctorale normande NBISE\*, qui se tiendront au Dôme les 21 & 22 mars 2019. L'idée est d'apporter un soutien et un accompagnement pour toutes les questions d'ordre pratique – recherche de financements, lancement de l'appel à communications, suivi des inscriptions, restauration, etc. Plus largement, nous restons à la disposition de tous les doctorants qui souhaiteraient mettre en place un projet en lien avec la communication et la vulgarisation scientifique.



Cette fleur est-elle bien une fleur ?  
Atelier Microscopie & imagerie numérique  
avec le Centre de microscopie appliquée à la biologie - CMABIO3

### LA FÊTE DE LA SCIENCE... UN RENDEZ-VOUS INCONTOURNABLE POUR OPTIC ?

H.L.S. : La Fête de la science constitue une belle opportunité de se confronter à un public divers pour stimuler le goût des sciences. OPTIC participe en effet chaque année à Campus en Fête, le village des sciences de Caen. Les doctorants souhaitant s'investir à cette occasion peuvent s'adresser à nous. Nous restons à leur disposition pour les orienter vers les différentes possibilités qui leur sont offertes – stand d'information sur le doctorat et ses débouchés, ou animation scientifique –, mais aussi pour trouver des intervenants ou pour imaginer des supports de présentation originaux. L'association a proposé cette année un stand autour de « La rencontre de la matière et de la radioactivité » : les différents types de rayonnement étaient simulés par des billes de différentes couleurs venant heurter des plaques représentant la matière. D'autres doctorants d'OPTIC se sont, quant à eux, rapprochés de leur laboratoire de recherche. Pour ma part, j'ai participé cette année au stand « Microscopie et imagerie numérique » du CMABIO3, le Centre de microscopie appliquée à la biologie, avec lequel je collabore dans le cadre de mes travaux de recherche. Les visiteurs ont pu observer plusieurs échantillons biologiques au moyen de différents microscopes et appréhender différentes techniques d'analyse. J'ai notamment proposé aux visiteurs d'observer une pâquerette : cet exemple d'échantillon s'inscrit parfaitement dans le thème de la Fête de la science 2018 « Les idées reçues » puisque la pâquerette, que l'on considère comme une fleur est en réalité un ensemble de multiples pièces florales, que l'on appelle « inflorescence ». En botanique, la fleur se réfère à l'organe de reproduction et certaines plantes, comme la tulipe, n'en ont qu'un seul. D'autres, comme la pâquerette, en comptent plusieurs : tous les petits points jaunes rassemblés en son centre constituent, pour chacun d'entre eux, une fleur. Grâce au microscope binoculaire, les visiteurs ont pu observer en détail l'organisation structurale d'une inflorescence et se rendre compte de cette distinction.

**OPTIC** · Organisation – pour  
les thésards – interdisciplinaire de Caen

**ÉVA** · Écophysiologie végétale,  
agronomie & nutriments NCS

UMR-A 950 UNICAEN-INRA

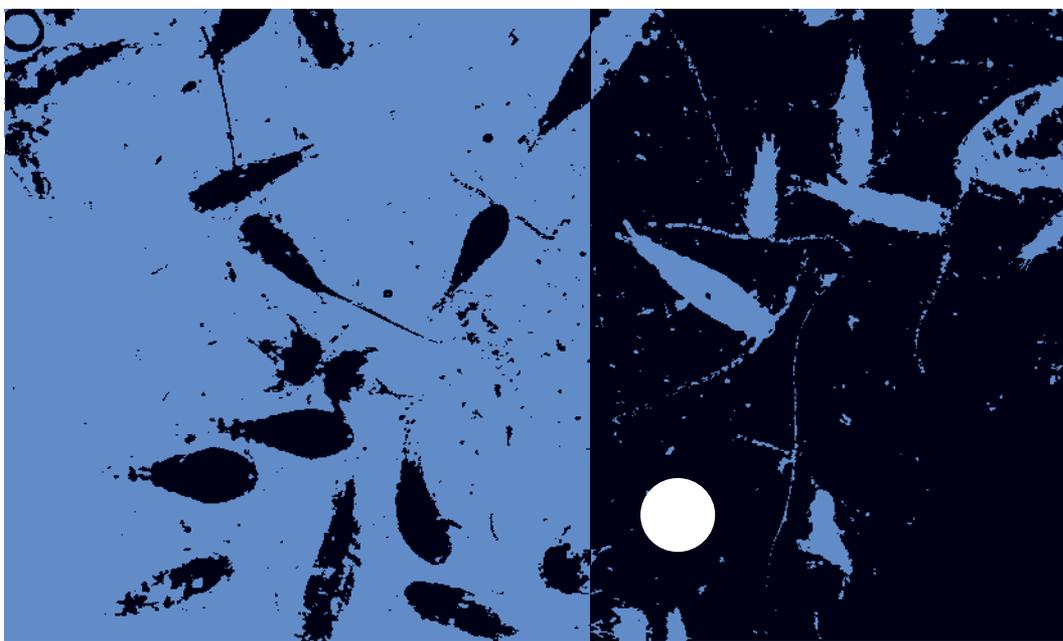
### VOUS PRÉPAREZ UNE THÈSE AU SEIN DE L'UNITÉ DE RECHERCHE ÉVA. SUR QUOI PORTENT VOS TRAVAUX DE RECHERCHE ?

H.L.S. : Mes travaux de recherche portent sur le ray-grass anglais – une plante de pâturage particulièrement appréciée des éleveurs pour sa grande résistance au froid, son apport en nutriments, et son fort potentiel de rendement. Une fois brouté par les bovins, le ray-grass a en effet la particularité de repousser rapidement. C'est cette capacité de foliation qui m'intéresse plus spécifiquement. Les plantes utilisent la photosynthèse pour produire les sucres dont elles ont besoin pour pousser et développer leurs racines. Le transport des sucres, des feuilles vers le reste de la plante, est orchestré par des protéines dont l'identité et la régulation sont encore mal connues chez le ray-grass. L'objectif est ainsi de les identifier et de les caractériser. Ce champ d'étude en cours d'exploration est nécessaire pour comprendre les mécanismes qui régulent l'allocation et le transport de sucres, et donc possiblement leur utilisation. En fonction des besoins spécifiques de la plante et de nombreux facteurs externes, ces protéines sont activées ou inhibées pour permettre une bonne répartition des sucres. Dans l'une de mes approches expérimentales, nous analysons, par exemple, l'effet exercé par certaines souches de bactéries naturellement présentes sur les feuilles de ray-grass, sur la régulation des teneurs et du transport des sucres au sein de la plante.

Participer à la Fête de la science incite à mettre ses travaux en perspective et à prendre du recul pour adapter son discours : une pâquerette a ainsi servi de point de départ pour aborder des notions plus ou moins complexes de physiologie végétale. Pour tout doctorant se destinant à une carrière d'enseignant-chercheur, cette expérience implique nécessairement une forme d'introspection : est-ce que transmettre, expliquer, partager a du sens pour moi ? La culture scientifique et la communication constituent une dimension fondamentale du travail de recherche.

\* ED 497 NBISE · Normande de Biologie Intégrative, Santé, Environnement | ED 590 MIIS · Mathématiques, Information, Ingénierie des Systèmes | ED 591 PSIME · Physique, Sciences de l'Ingénieur, Matériaux, Énergie

# LE PLANCTON, SOURCE DE VIE



*Le plancton, ce sont des milliers d'organismes microscopiques qui flottent et dérivent au gré des courants marins. Passif le plancton ? Pas si sûr... L'atelier proposé par Émilie Réalis-Doyelle lors de Campus en Fête a interpellé les visiteurs sur « les pouvoirs extraordinaires du plancton » — une démarche nécessaire pour nous éclairer sur l'importance de cet univers invisible mais essentiel à l'équilibre de notre planète.*

## AUX ORIGINES DU VIVANT

« On a tous besoin d'un plus petit que soi », soulignait Jean de La Fontaine... un célèbre précepte qui s'applique particulièrement bien au plancton ! Et pour cause, le phytoplancton ou « plancton végétal » fournit 50% de l'oxygène que nous respirons. À l'instar des plantes terrestres, le phytoplancton a besoin d'eau, de lumière et de CO<sub>2</sub> pour assurer sa croissance. Ces végétaux microscopiques absorbent d'importantes quantités de dioxyde de carbone et, grâce à la photosynthèse, libèrent de l'oxygène dans l'atmosphère. C'est d'ailleurs pour cette capacité à produire de l'oxygène que le phytoplancton a joué un rôle crucial dans l'apparition de la vie sur Terre : la prolifération de cyanobactéries et de microalgues dans l'océan primitif, il y a plus de 3 milliards d'années, a entraîné une diffusion accrue d'oxygène, favorisant, au fil du temps, la formation de la couche d'ozone dans la haute atmosphère et l'émergence de la vie en dehors des océans.

En dehors, mais aussi dans les océans. Premier maillon de la chaîne alimentaire marine, le phytoplancton a contribué à l'essor d'une faune marine riche et diversifiée. Le plancton végétal sert de nourriture au zooplancton ou « plancton animal » qui, à son tour, est consommé par les poissons et les mammifères marins. Les espèces planctoniques, représentant 98% de la biomasse aquatique, sont une source de vie et d'équilibre pour l'ensemble de l'écosystème océanique.

## VOIR L'OcéAN D'UN ŒIL NOUVEAU

Diatomées, dinoflagellés, foraminifères, radiolaires, copépodes, phorines... Les dizaines de milliers d'espèces planctoniques se caractérisent par une grande diversité de formes, de tailles et de couleurs. « Certaines espèces de phytoplancton rivalisent d'ingéniosité pour attirer leurs proies et leurs partenaires sexuels et pour faire fuir leurs prédateurs », précise Émilie Réalis-Doyelle, post-doctorante au laboratoire BOREA. « Les dinoflagellés pratiquent de la bioluminescence grâce à la luciférine, une protéine qui s'oxyde au contact de l'air produit par l'agitation des vagues. Ce phénomène d'oxydation se traduit par une émission de lumière, qui rend les vagues étincelantes ». D'autres, au contraire, vont chercher à se camoufler, tel le copépode mâle de la famille des Sapphirina qui, grâce à sa carapace iridescente, sait se rendre invisible en changeant de couleur.

## UN ATELIER POUR ÉVEILLER LES CONSCIENCES

« Nous avons insisté sur ces quelques caractéristiques amusantes pour attirer l'attention des visiteurs », indique Émilie Réalis-Doyelle. « Pour ce faire, nous avons mis en place des animations basées sur l'application Planktomania co-développée par le CNRS, des jeux de dés et des cartes de jeux 3D. Nous avons également installé des microscopes avec des échantillons prélevés dans la Manche au printemps, en été, en automne et en hiver, pour que les visiteurs puissent observer la grande diversité du plancton en fonction des saisons ».

Les visiteurs ont également pu découvrir que le plancton se trouve aussi là où on ne l'attend pas. Les falaises blanches d'Étretat ? « Ce sont des fossiles de coccolithophoridés, des microalgues qui ont tapissé les fonds marins et formé d'épaisses couches sédimentaires, avant d'être amenés en surface par les soulèvements géologiques, il y a une centaine de millions d'années environ ». Le pétrole ? « Il s'agit d'un combustible fossile provenant de la décomposition d'organismes de plancton ».

En somme, le plancton est à l'origine de la nourriture que nous consommons, de l'oxygène que nous respirons, de l'énergie fossile que nous utilisons. Il absorbe, qui plus est, une grande quantité de gaz carbonique. L'objectif, à travers cet atelier, était d'amener le visiteur à réfléchir et à prendre conscience de l'importance de cet univers invisible. Sur les épaules de ces organismes microscopiques reposent les grands équilibres environnementaux. Ou plutôt sur les nôtres, car la pollution humaine et le réchauffement climatique sont autant de facteurs qui contribuent à une acidification des océans, nuisible pour le développement du plancton... et de ses « supers pouvoirs ».

# CAPACITÉS DU CERVEAU — L'HOMME, UN ANIMAL COMME LES AUTRES !

*Se glisser dans la peau d'une souris : c'est ce que les chercheurs de COMETE ont proposé aux visiteurs de Campus en Fête pour mieux comprendre le fonctionnement du cerveau et les processus de mémoire et de mémorisation. L'occasion également de susciter une réflexion autour de l'éthique dans l'expérimentation animale.*

## IMMERSION DANS UN LABYRINTHE GRANDEUR NATURE

C'est un parcours inédit qui s'est offert aux visiteurs de Campus en Fête : une déambulation dans un Y-maze, un dispositif bien connu des chercheurs en neurosciences pour tester la mémoire de travail... chez les souris. Le principe de l'Y-maze, ou «labyrinthe en Y» consiste à placer l'animal dans l'un des trois bras du labyrinthe : curieux de nature, le rongeur va explorer son nouvel environnement. Les performances de la mémoire de travail sont jugées intactes si l'animal alterne spontanément entre les différents espaces et ne retourne pas dans un bras déjà visité.

C'est avec des palettes et des panneaux de bois de récupération que les chercheurs de COMETE ont fabriqué un labyrinthe de 2 mètres de haut. Pourquoi un tel dispositif? «L'idée était de mettre en avant l'aspect translationnel des recherches menées au sein de notre unité», précise Solenn Percelay, doctorante et référente du projet. «Les résultats des tests comportementaux que nous menons chez l'animal sont applicables à l'homme. Les expérimentations sont évidemment adaptées, mais ce sont bien des fonctions cognitives similaires qui sont testées. Sur notre stand, des posters et des vidéos mettaient en parallèle les tests comportementaux menés chez les rongeurs avec les tests menés chez l'homme. C'est ce lien, de la recherche pré-clinique à la recherche clinique, que nous avons voulu mettre en évidence auprès du grand public». Le projet scientifique de l'unité COMETE, c'est l'étude des mécanismes sensorimoteurs, mnésiques, temporels, qui permettent de mieux comprendre la physiologie du vieillissement et de certaines maladies neurologiques et psychiatriques.

## DES TESTS LUDIQUES POUR APPREHENDER DIFFÉRENTES FONCTIONS COGNITIVES

Au bout de chaque bras de l'Y-maze étaient proposés des tests simples sur le fonctionnement de notre cerveau. «Pour tester la mémoire de travail, nous avons préparé un enregistrement audio diffusant des séries de lettres successives», souligne Eva Ploux, doctorante en neurosciences. «Le test consistait à taper dans les mains lorsqu'une lettre, déjà prononcée deux positions plus tôt, était de nouveau entendue, comme le "R" dans la série "A-C-C-R-D-R", par exemple. La mémoire de travail est une mémoire dite "à court terme" qui permet de conserver provisoirement des informations, le temps d'exécuter une tâche spécifique. Il s'agissait de répondre le plus rapidement possible aux stimuli, sans se tromper».

Autre bras, autre expérimentation. Pour tester la mémoire à long terme, les visiteurs étaient confrontés à trois listes de dix mots à retenir : la première comprenant des mots inventés, la deuxième des mots existants choisis au hasard, et la dernière, des mots appartenant à un même champ lexical. L'objectif : restituer le plus de mots possibles, après un délai plus ou moins long. Les mots issus de la première liste, ne renvoyant à aucune signification, sont les plus difficiles à retenir. À l'inverse, les mots figurant sur la dernière liste se retiennent plus facilement car le cerveau effectue des associations sémantiques. «Ce test est intéressant car il met en évidence les processus de mémorisation», indique Valentine Bouet, maître de conférences en pharmacologie. «On se souvient généralement des premiers éléments de la liste car le cerveau n'est pas distrait par des informations exposées auparavant : c'est l'effet de primauté. On se souvient également des derniers éléments de la liste car le cerveau n'est pas perturbé par de nouvelles informations à mémoriser : c'est l'effet de récence».

Dans le dernier bras se trouvait un poster comprenant une nouvelle liste de mots dont il fallait énoncer, à voix haute, la couleur d'écriture. Pour ajouter un peu de difficulté à cette tâche en apparence simple, le sens du mot et sa couleur d'écriture étaient différents. Cette tâche permet de tester la fonction d'inhibition cognitive. Face au mot «jaune»

COMETE · Mobilités : vieillissement,  
pathologie, santé

UMR-S 1075 UNICAEN-INSERM

écrit en vert ou au mot «rouge» écrit en bleu, le sujet va devoir inhiber son premier réflexe, qui est celui de la lecture pour se concentrer sur la couleur : c'est l'effet Stroop. «Ce test fonctionne bien auprès d'un public familial puisque les très jeunes enfants, qui n'ont pas encore acquis la lecture automatique, surpassent leurs parents!», indique Florane Pasquier, doctorante en STAPS.

## UNE RÉFLEXION SUR L'ÉTHIQUE DANS L'EXPÉRIMENTATION ANIMALE

Ces différents tests sont utilisés pour évaluer le fonctionnement normal et pathologique du cerveau. Pour l'unité COMETE, l'objectif est de développer des outils de dépistage et de diagnostic afin de mettre en place des stratégies d'amélioration de la qualité de vie des patients atteints de pathologies telles que la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson. Dans le cadre de stratégies pharmacologiques, les essais pré-cliniques chez l'animal restent une étape indispensable pour acquérir les premières connaissances sur le comportement d'un candidat médicament avant d'envisager une administration chez l'homme.

«Un atelier autour des tests comportementaux chez l'homme et chez l'animal impliquait nécessairement une réflexion sur l'éthique dans l'expérimentation animale. Nous avons voulu jouer la carte de la transparence pour déconstruire les clichés et les caricatures. Un tel débat trouvait parfaitement sa place dans la Fête de la science 2018 qui avait pour thème les "idées reçues"», conclut Solenn Percelay. «Le recours aux animaux à des fins scientifiques est strictement encadré et validé par un comité d'éthique. En tant qu'acteurs de la recherche, nous sommes toutes et tous sensibilisés au cadre réglementaire. C'était important pour nous d'en parler».

Cet atelier, proposé les 13 & 14 octobre 2018 à l'occasion de Campus en Fête, était porté par des doctorants, post-doctorants, enseignants-chercheurs et techniciens de l'unité COMETE : Elpidio Attoh-Mensah, Valentine Bouet, Mélanie Coolzaet, Houda Daaloul, Olga Kuldavletova, Stacy Largillière, Tristan Martin, Gérald Nee, Florane Pasquier, Solenn Percelay, Eva Ploux.



# LE CARTILAGE & SES MALADIES L'ÉPIGÉNÉTIQUE EN QUESTION

*L'épigénétique est l'une des approches suivies par l'unité BIOCONNECT pour étudier le fonctionnement du cartilage. C'est également le thème central de l'atelier proposé cette année par les chercheurs à l'occasion de Campus en Fête. Au programme : des jeux et des ateliers pratiques pour expliquer ce mécanisme complexe régulant l'expression des gènes.*

## UN SEUL ADN, UN SEUL PATRIMOINE GÉNÉTIQUE... MAIS DES INTERPRÉTATIONS DIFFÉRENTES

Chacune de nos cellules comprend une molécule d'ADN portant l'ensemble des informations génétiques – 25 000 gènes, répartis sur 23 paires de chromosomes hérités de nos parents. La génétique, c'est la science de l'hérédité : elle étudie notre patrimoine génétique, ses transmissions et ses variations au fil des générations. Mais qu'est-ce que l'épigénétique ?

« L'épigénétique est une discipline complémentaire », indique Catherine Baugé, directrice-adjointe de l'unité BIOCONNECT. « Les cellules de l'organisme possèdent toutes le même ADN et ont donc toutes accès aux mêmes informations génétiques. Mais force est de constater que les cellules n'ont pas les mêmes fonctions. Une cellule de peau va ainsi activer les gènes dont elle a besoin pour fonctionner, tandis que les autres gènes resteront inactifs. Une cellule de cartilage va, quant à elle, activer et réprimer des gènes bien différents. Ce processus de lecture des séquences ADN, c'est ce qu'on appelle l'épigénétique. La cuisine constitue un bon exemple, pour dire les choses simplement : si j'ai besoin de préparer un dessert, je vais prendre mon livre de recettes et aller directement au chapitre qui m'intéresse, sans regarder les entrées et les plats. Il en va de même pour les cellules qui vont lire ou non les informations génétiques, selon un mécanisme moléculaire qu'on appelle marque épigénétique. Ce sont ces marques épigénétiques qui contrôlent l'accès à l'ADN ».

Les chercheurs de BIOCONNECT ont adapté le célèbre jeu de l'oie pour aborder l'épigénétique de manière ludique. Le plateau de jeu est composé de 35 cases sur lesquelles sont inscrites, en

rouge et en vert, des marques épigénétiques. « Le principe est simple, précise Catherine Baugé. Les participants lancent le dé et avancent leur pion sur les cases correspondantes. Vert : on avance, car la marque épigénétique active la lecture de l'ADN. Rouge : on s'arrête car la marque épigénétique l'inhibe. Ce jeu est un prétexte pour lancer une discussion sur ces mécanismes qui régulent la lecture des gènes et donc le devenir des cellules ».

## MALADIES DU CARTILAGE : DES ANOMALIES ÉPIGÉNÉTIQUES ?

Ces mécanismes épigénétiques sont d'autant plus complexes qu'ils sont influencés par des facteurs environnementaux. L'alimentation, le stress, la pollution, le tabagisme sont susceptibles d'interférer avec l'expression de nos gènes... et sur le devenir de nos cellules. Ces anomalies épigénétiques, lorsqu'elles persistent, peuvent contribuer à la progression de maladies. « Notre projet scientifique, c'est l'étude du cartilage », explique Karim Boumediene, directeur de l'unité BIOCONNECT. « L'épigénétique est encore mal connue dans le fonctionnement des cellules du cartilage. Pourtant, les modifications épigénétiques jouent un rôle décisif dans le développement du cartilage et de ses pathologies ». Le projet Epicart, financé par l'ANR depuis octobre 2015, s'attache à comprendre les mécanismes en jeu. Pendant longtemps, ces marques épigénétiques ont été considérées comme irréversibles mais de récentes recherches ont démontré le contraire... ce qui ouvre la voie vers de nouvelles stratégies thérapeutiques. Les cibles actuelles de l'unité BIOCONNECT concernent deux maladies : l'arthrose, une maladie dégénérative du cartilage des articulations, et le chondrosarcome, un cancer potentiellement fatal et résistant aux traite-

**BIOCONNECT** - Biotechnologie des tissus conjonctifs et cutanés

EA 7451

ments conventionnels que sont la chimiothérapie et la radiothérapie. Des études *in vitro* et *in vivo* sont actuellement en cours, en partenariat avec la Ligue contre le cancer, pour évaluer l'efficacité de traitements visant plus spécifiquement les marques épigénétiques.

Pour autant, lorsqu'il s'agit d'affiner la compréhension de maladies telles que l'arthrose, la génétique n'est pas à exclure. « Certaines personnes vont développer une forme d'arthrose précoce », souligne Juliette Aury-Landas, ingénieure de recherche. « Cette précocité a très probablement des causes héréditaires. Nous collaborons actuellement à EXORHUM, un programme hospitalier de recherche clinique interrégional, qui s'attache à déterminer quels gènes sont impliqués dans ce cas précis ».

## RÉPARER, RÉGÉNÉRER, RECONSTRUIRE LE CARTILAGE

Le cartilage a une particularité : il se régénère peu et cicatrise difficilement. Dès lors, la chirurgie réparatrice est souvent la seule issue pour pallier la dégénérescence du cartilage dans les cas d'arthrose, et pour reconstruire les tissus endommagés par la chimiothérapie dans les cas de chondrosarcomes. L'unité BIOCONNECT développe des solutions d'ingénierie tissulaire, notamment dans le cadre de la Fédération hospitalo-universitaire SURFACE dédiée à la chirurgie réparatrice de la tête et du cou. Cette FHU regroupe des équipes de cliniciens chirurgiens et de chercheurs des CHU et des universités d'Amiens, de Caen et de Rouen. L'objectif de BIOCONNECT : mettre au point des solutions de reconstruction du cartilage pour les oreilles et la trachée. « Lors de Campus en Fête, nous avons proposé une activité visant à mimer la formation de cartilage à partir de cellules souches, conclut Catherine Baugé. Les visiteurs ont utilisé un extrait d'algue appelée alginate, mélangé à du colorant alimentaire, qui, au contact du calcium, se gélifie en minuscules billes colorées. Cette activité, simple et visuelle, nous a permis d'illustrer et de susciter des échanges autour de ce troisième axe de recherche du laboratoire ».

*UNICAEN tient à saluer la mémoire de Josette Travert, qui œuvrait inlassablement à l'organisation de la Fête de la Science, en particulier en tant que coordinatrice de l'opération Campus en fête.*

## LES PROJETS — FÊTE DE LA SCIENCE 2018 — ÉTAIENT PORTÉS PAR

ABTE (EA 4651) | Association des amis de l'université | Bibliothèque universitaire Rosalind Franklin | BOREA (UMR 7208 MNHN-UNICAEN-Sorbonne Université-université des Antilles-IRD-CNRS) | BIOCONNECT (EA 7451) | CERMN (EA 4258) | CERREV (EA 3918) | CESAMS (EA 4260) | CMABIO3 (SF ICORE 4206) | CIMAP (UMR 6252 ENSICAEN-UNICAEN-CNRS-CEA) | CRAHAM Centre Michel de Boüard (UMR 6273 UNICAEN-CNRS) | Corpo Sciences | CYCERON (UMS 3408) | IUT Cherbourg Manche | ESO-Caen (UMR 6590 CNRS-multi-sites) | GREYC (UMR 6072 UNICAEN-ENSICAEN-CNRS) |

ISTS (EA 7466) | ISTCT (UMR UNICAEN-CEA-CNRS) | LMNO (UMR 6139 UNICAEN-CNRS) | LPC (UMR 6534 ENSICAEN-UNICAEN-CNRS) | LAPSIDE (UMR 8240 université Paris Descartes-UNICAEN-CNRS) | LUSAC (EA 4253) | LETG-GEOPHEN (UMR 6554 CNRS multi-sites) | MRSH Caen Normandie | COMETE (UMR-S 1075 UNICAEN-INSERM) | NECC-ETHOS (UMR 6552 université Rennes 1-UNICAEN-CNRS) | NIMH (UMR-S 1077 UNICAEN-EPHE-INSERM) | OPTIC | PHIND (UMR-S 1237 UNICAEN-EFS-INSERM) | SEILIRM (EA 4650) | UFR des Sciences



Scène n°12. Détail du revers de la Tapisserie de Bayeux · XI<sup>e</sup> siècle.

© Région Normandie · Inventaire général · Pascal Corbierre

(cliché 19821400878PA)

*La numérisation de la Tapisserie de Bayeux, en 2017, marque le point de départ d'un plus vaste projet : créer une plateforme numérique qui facilite l'étude de la tapisserie médiévale et qui indexe toute la documentation existante et à venir. Un projet hors norme... à la mesure de l'immensité de l'œuvre.*

### UN PANORAMA COMPLET DE LA CÉLÈBRE TAPISSERIE...

Chef d'œuvre de l'art roman du XI<sup>e</sup> siècle, la Tapisserie de Bayeux relate la conquête de l'Angleterre par Guillaume le Conquérant en 1066, avec une foule d'informations originales sur la vie quotidienne et sur l'architecture civile et militaire au Moyen Âge, absentes des manuscrits contemporains. Le musée de la Tapisserie de Bayeux attire chaque année près de 400 000 visiteurs venus du monde entier. Un nouvel espace muséal est aujourd'hui à l'étude : c'est dans ce cadre que le projet de numérisation de la Tapisserie a vu le jour. L'objectif premier : déterminer l'état matériel de l'œuvre pour repenser les conditions de présentation et d'exposition dans le nouveau musée.

La captation de l'œuvre, qui n'était pas sortie intégralement de sa vitrine d'exposition depuis 30 ans, a été effectuée par La Fabrique de patrimoines en Normandie en 2017 selon plusieurs modalités d'éclairage – lumière de jour, ultraviolet, infrarouge, etc. Pas moins de 86 clichés par modalités d'éclairage ont été nécessaires pour couvrir entièrement la tapisserie. Un travail colossal au regard des conditions difficiles de prise de vue, de la fragilité de l'œuvre et de ses dimensions exceptionnelles – 70 mètres de long, 50 centimètres de haut et pas moins de 350 kilos. Les images ont été confiées au CERTIC de l'université de Caen Normandie, responsable du

volet numérique au sein du projet de futur musée de la Tapisserie de Bayeux. « Nous avons travaillé avec le GREYC, laboratoire normand des sciences du numérique, pour construire un panorama complet de l'œuvre, car aucune solution existante ne permettait une telle opération », précise Arnaud Daret, responsable du CERTIC. « Nous avons été rapidement confrontés à des problématiques de traitement de ces nombreuses images numérisées. Comment travailler et assembler un tel nombre d'images sans intervention manuelle ? Comment corriger les défauts inévitables dus aux conditions d'éclairage et d'exposition ? Comment gommer les erreurs d'assemblage ? Comment obtenir un rendu qui reste parfaitement net et horizontal ? Comment produire plusieurs panoramas, utilisant des modalités d'éclairages différentes, mais parfaitement recalés entre eux ? L'expertise du GREYC a été indispensable pour répondre à ces questions ». Le GREYC et le CERTIC ont travaillé ensemble à l'élaboration d'un outil capable de générer automatiquement plusieurs représentations complètes de la Tapisserie à partir de ces clichés. Le résultat : une visualisation fluide de l'intégralité de la Tapisserie, avec une interface proposant différentes modalités d'éclairage, de déplacement et de zoom pour l'explorer sous tous les angles et dans les moindres détails.

### ... À DES FINS DOCUMENTAIRES, SCIENTIFIQUES ET PATRIMONIALES

Mais l'ambition du projet est plus vaste : cette version numérique de la Tapisserie doit servir de référence pour tous les travaux de restauration et pour toutes les études scientifiques à venir. « Une plateforme numérique est en cours de création pour faciliter l'étude et l'analyse de l'œuvre, indique Arnaud Daret. Des restaurateurs, des conservateurs et des historiens ont été très tôt associés au projet pour que soit créé un outil qui réponde véritablement à leurs besoins ». Cette plateforme réunira l'ensemble des ressources documentaires existantes et à venir. C'est là qu'intervient l'expertise du Pôle Document numérique de l'université de Caen Normandie. Plateforme d'ingénierie et pôle pluridisciplinaire de la Maison de la recherche en sciences humaines, le Pôle Document numérique est spécialisé dans le développement et la mise en œuvre d'outils numériques au service des données scientifiques et patrimoniales. « Notre travail consiste à établir la base de données documentaires qui sera intégrée à la plateforme numérique : le système d'information documentaire spatialisé », précise Julia Roger, ingénieure d'études au Pôle. « L'idée est de pouvoir localiser les ressources documentaires sur la représentation numérique de la Tapisserie, de la même manière qu'il est possible de trouver des informations sur une carte géographique numérique ou un GPS. L'utilisateur pourra naviguer sur la Tapisserie, sur laquelle auront été définies des zones d'intérêt. Ces zones peuvent, par exemple, relever de l'iconographie – chevaux, épées, ou encore bateaux – ou bien de l'état matériel – déchirures, tâches, trous. Il suffira de sélectionner l'une de ces zones pour faire remonter toute la documentation la concernant ».



Les restaurateurs auront ainsi à disposition un outil de suivi de l'état matériel de l'œuvre, comprenant notamment les données issues de la dernière grande expertise menée en 1982-1983 – photographies de l'endroit et de l'envers de la Tapisserie, rapports dactylographiés, annotations manuscrites sur la nature et la dimension des points de broderie, etc. « Notre travail consiste à centraliser tous ces documents sur la plateforme numérique, précise Julia Roger. En fonction de leur nature, ils seront accessibles en mode image, mais aussi en mode texte, ce qui permettra notamment de filtrer les recherches parmi toutes les ressources documentaires ». La base de données, qui contient actuellement 3 000 objets, est régulièrement mise à jour en fonction de l'intégration des différentes sources de données. La communauté scientifique internationale aura ainsi accès à toute la documentation mondiale relative à la Tapisserie. Les historiens auront la possibilité de sélectionner manuellement des zones d'intérêt, les annoter, les exporter sous formes d'images et les stocker dans un espace de travail personnalisé.

À l'heure où les discussions sur l'éventualité d'un prêt à la Grande-Bretagne sont en cours, cette cartographie numérique contribue à documenter l'état matériel de l'œuvre pour permettre aux parties prenantes de se prononcer sur la possibilité d'un déplacement de l'autre côté de la Manche pendant la période de travaux du futur musée. Cette version numérique ne se substitue en aucun cas à l'accès direct à l'œuvre originale qui trouvera sa place, aux alentours de 2025, dans le nouveau musée. Ce projet, qui associe de nombreux partenaires institutionnels et scientifiques, constitue un bel exemple de collaboration interdisciplinaire pour favoriser le dialogue autour d'un objet patrimonial.

Scène n°12. Détail de la Tapisserie de Bayeux XI<sup>e</sup> siècle. Avec autorisation spéciale de la Ville de Bayeux.

Le projet est piloté par la Ville de Bayeux et la Direction régionale des affaires culturelles de Normandie, en partenariat avec : CERTIC · Centre de ressources technologiques pour les technologies de l'information et de la communication · UNICAEN | Pôle Document numérique — Maison de la recherche en sciences humaines · MRSH · UNICAEN–CNRS | GREYC · Groupe de recherche en informatique, image, automatique et instrumentation de Caen · UMR 6072 UNICAEN–ENSICAEN–CNRS | La Fabrique de patrimoines en Normandie