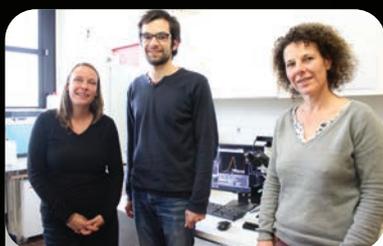




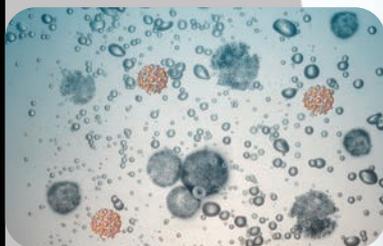
Mathématiques Une agence de rencontres pour les maths

DOSSIER

Agroalimentaire Qui mange bien nourrit bien



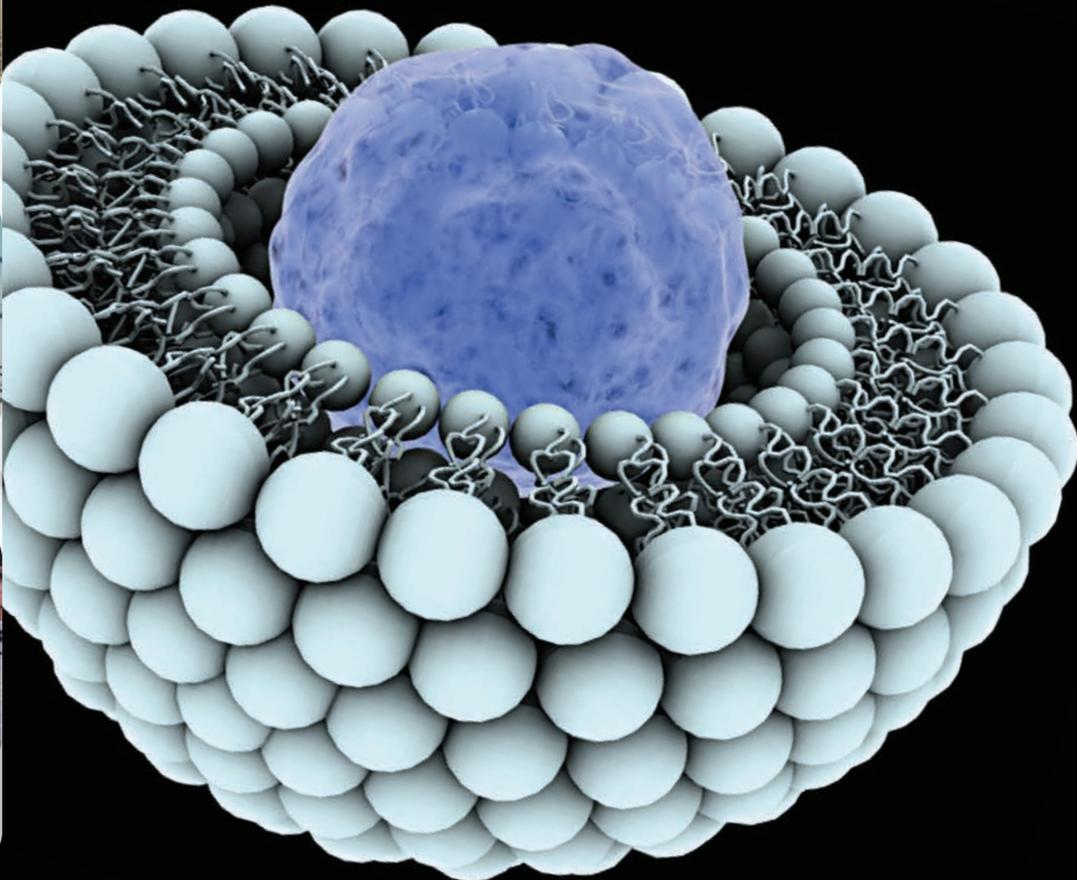
Imagerie, thérapie : ils font avancer la nanomédecine



Des vésicules non toxiques et ciblées vers les tumeurs



Dans le labo des chimistes avant les tests biologiques



Un combat à l'échelle des atomes

LES CHIMISTES CONTRE LE CANCER



EXPOSITION PERMANENTE
➤ Espace des sciences - Rennes



LABORATOIRE DE MERLIN

EXPLOREZ



FRANÇOISE DESTÈVE

L'arsenal des chimistes pour lutter contre le cancer

Ce numéro termine l'année 2016 avec un anniversaire : celui de l'Institut des sciences chimiques de Rennes⁽¹⁾. Créé en 2006, l'institut regroupe aujourd'hui plus de 280 personnels permanents répartis en huit équipes à Rennes et Lannion.

Ce n'est pas à vous, lecteurs de *Sciences Ouest*, qu'on l'apprendra : la chimie est partout, tout autour de nous. Elle est capable du pire... comme du meilleur ! En axant ce dossier sur la santé, un des trois axes⁽²⁾ en phase avec les attentes sociétales encouragées par la stratégie nationale de recherche,

il est apparu que la lutte contre le cancer était une activité commune à plusieurs équipes de l'institut. Aidés par les biologistes et les médecins, les chimistes fabriquent, parfois à l'atome près, un arsenal varié de molécules (principes actifs et/ou vecteurs de transport jusqu'aux cellules tumorales) qui deviendront, parfois des années plus tard, des médicaments.

NATHALIE BLANC / RÉDACTRICE EN CHEF

⁽¹⁾Unité mixte de recherche CNRS, Université de Rennes 1, École nationale supérieure de chimie de Rennes (ENSCR), Insa Rennes. ⁽²⁾Les trois axes sont : Molécules et matériaux pour la santé ; Molécules et matériaux pour l'optique et l'électronique ; Chimie et ingénierie pour le développement durable.

n° 347 DÉCEMBRE 2016

sciences ouest

DÉJÀ DEMAIN LES BRÈVES

CE QUE JE CHERCHE

Par SOPHIE GOURGUET, chercheuse en modélisation écologie-économie « J'étudie la viabilité de la pêche. »

DES MOUCHES MISES AU FRIGO
LE CHIEN MANGE COMME SON MAÎTRE
MODÉLISÉS JUSQU'À LA CELLULE

4

4

6

7

DÉJÀ DEMAIN LES ACTUS

UNE AGENCE DE RENCONTRES POUR LES MATHS 8

QUI MANGE BIEN NOURRIT BIEN 9

À L'ESPACE DES SCIENCES

19

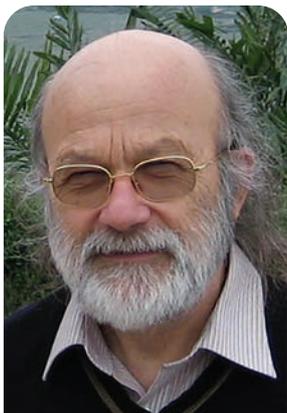
L'AGENDA DE LA RÉDACTION

20

L'ÉPREUVE PAR 7 JEAN-YVES SAILLARD, professeur émérite en chimie théorique à l'ISCR⁽¹⁾

Une interview non scientifique

22



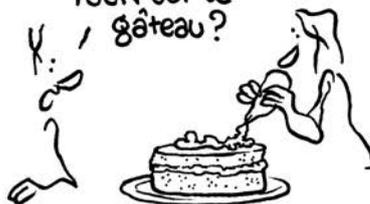
POINTE SÈCHE PAR WILLIAM AUGEL

Je fais le gâteau d'anniversaire de l'institut des sciences chimiques de Rennes...

et j'ai pas assez de molécules de Chantilly pour tout écrire...



pourquoi t'as pas écrit simplement ISCR sur le gâteau ?



tu n'pouvais pas venir une demi-heure plus tôt ?



LE DOSSIER



LA CHIMIE CONTRE LE CANCER

10 à 18

ILS ATTAQUENT LA NICHE TUMORALE 14

CONTRER LES EFFETS SECONDAIRES 15

LA CHALEUR QUI TUE LES CELLULES 16

COMBATTANTS DE L'IMMORTALITÉ 17

INACTIVÉS MAIS PAS BOUCHÉS ! 18

COUVERTURE : Le liposome simple est une vésicule biodégradable constituée d'une double couche de phospholipides et d'un compartiment aqueux au centre. C'est un vecteur de médicament de première génération (lire p. 10 à 12). FRANÇOIS CAILLAUD / SABASCIENCEZ / ONIS PHOTO THÈQUE

CE QUE JE CHERCHE

« J'étudie la viabilité de la pêche. »

SOPHIE GOURGUET

CHERCHEUSE EN MODÉLISATION ÉCOLOGIE-ÉCONOMIE

« J'étudie les conséquences économiques et écologiques de la pêche. Pour cela, je travaille à la fois avec des biologistes, qui fournissent des données sur les stocks de poissons, et des économistes, qui nous indiquent les valeurs d'indicateurs économiques, telles que les coûts d'exploitation des navires. J'intègre le tout dans un seul modèle. Lors de ma thèse, en cotutelle entre l'Université de Bretagne Occidentale et celle de Tasmanie, j'ai à la fois étudié la viabilité d'une pêcherie crevette à l'australie et celle de la pêche du merlu, de la sole et de la langoustine dans le golfe de Gascogne. Maintenant que je travaille à l'Ifremer de Brest, je m'intéresse à différents cas d'études, dont la conchyliculture dans le golfe normand-breton et des pêcheries mixtes en Méditerranée. C'est plein de projets différents, mais la base est commune. Il faut avoir une vision assez large pour réfléchir à l'ensemble du système. L'intérêt des approches intégrées est de prendre en compte non pas un seul stock, mais les interactions entre différentes espèces et les flottilles de pêche les exploitant, ainsi que les captures accessoires. Par exemple, la pêche à la crevette en Australie capture également des serpents de mer, qui sont menacés. Il faut alors déterminer quel est le seuil de capture acceptable, tout en garantissant que la pêche reste rentable. Mes travaux ont permis de montrer qu'en jouant sur les proportions de techniques de pêche, par exemple en diminuant certains chaluts de fond au profit de la pêche avec des filets, plus sélectifs, il est possible de préserver les stocks tout en garantissant des revenus aux pêcheurs. »

PROPOS RECUEILLIS PAR MARYSE CHABALIER

Rens. : Sophie Gourguet, tél. 02 90 91 56 41, sophie.gourguet@ifremer.fr



Sophie Gourguet est chercheuse au sein de l'Unité d'économie maritime de l'Ifremer à Brest.

Elle a reçu le prix de thèse 2015 de l'Institut océanographique, remis le 22 novembre dernier, pour sa thèse *Viabilité écologique et économique pour la gestion durable de pêcheries mixtes*, soutenue en 2013.

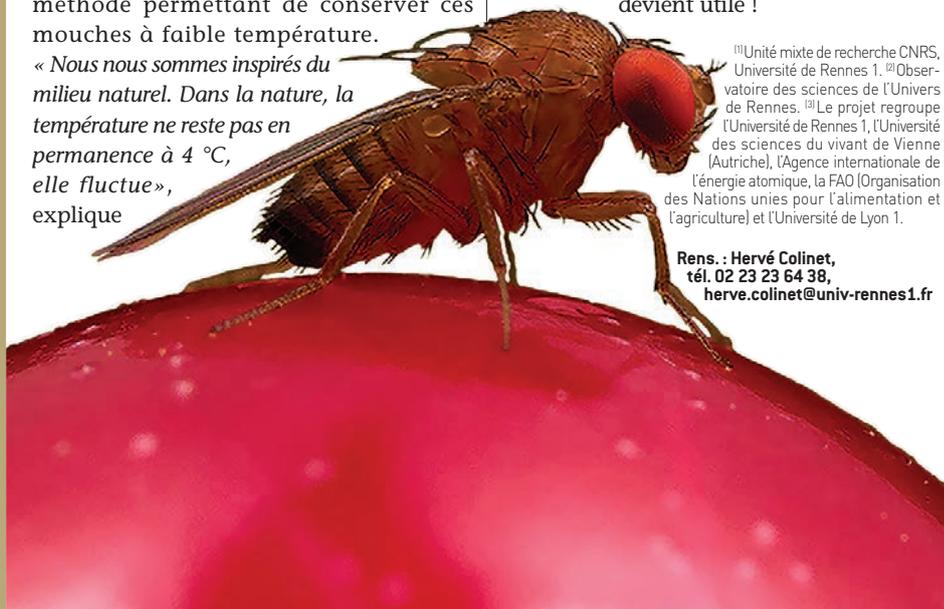
Une équipe de recherche de Rennes a mis au point une méthode originale pour conserver les mouches des fruits. Des mouches mises au frigo

Mettre des insectes au froid n'est pas une lubie de chercheurs mais une réponse à un problème concret : diminuer le coût et la main d'œuvre nécessaire à leur élevage. De par le monde, des milliards d'insectes sont élevés pour être utilisés pour la recherche, la lutte biologique ou comme pollinisateurs. Leur conservation au froid permet de les garder plus longtemps à un stade donné et de prolonger leur durée de vie. Soumis à des faibles températures, les insectes des latitudes tempérées ralentissent naturellement leur métabolisme et restent immobiles, ce qui facilite leur entretien et leur manipulation. Mais *Drosophila melanogaster*, la petite mouche reine des laboratoires, utilisée dans de nombreuses études de génétique et sur les pathologies, ne tolérât aucune conservation par le froid. Et pour cause, elle est originaire des tropiques, où elle n'a pas besoin de ralentir son métabolisme pour passer l'hiver. Pourtant, Hervé Colinet, du laboratoire Écobio⁽¹⁾, à l'Osur⁽²⁾, sur le campus de l'Université de Rennes 1, en collaboration avec des chercheurs tchèques, a réussi à mettre au point une méthode permettant de conserver ces mouches à faible température.

« Nous nous sommes inspirés du milieu naturel. Dans la nature, la température ne reste pas en permanence à 4 °C, elle fluctue », explique

le chercheur. Les études ont montré qu'une conservation aux alentours de 5 °C, avec une augmentation à 20 °C pendant deux heures chaque jour, permet d'éviter l'accumulation des dommages causés par le froid et d'arrêter le développement de l'insecte pendant deux mois, soit une espérance de vie multipliée par dix !

L'équipe du chercheur s'attaque maintenant à une autre espèce de drosophile, *Drosophila sukukii*. Originaire d'Asie du Sud-Est, elle a débarqué en Europe en 2008. Contrairement à sa cousine qui adore les fruits en décomposition, elle pond dans les fruits mûrs. Un désastre pour les producteurs de fruits rouges, qui n'ont aucun moyen de s'en protéger ! L'équipe rennaise fait partie du projet international Suzukill⁽³⁾. L'idée est d'introduire dans les serres des mâles stérilisés ou porteurs d'une bactérie provoquant la stérilité des descendants. Ils rentrent en compétition avec les mouches fertiles, et stoppent ainsi la reproduction de l'espèce. Seulement, il faut pouvoir accumuler des millions d'individus avant de les relâcher en masse. C'est là que le stockage dans le froid devient utile !



⁽¹⁾Unité mixte de recherche CNRS, Université de Rennes 1. ⁽²⁾Observatoire des sciences de l'Université de Rennes. ⁽³⁾Le projet regroupe l'Université de Rennes 1, l'Université des sciences du vivant de Vienne (Autriche), l'Agence internationale de l'énergie atomique, la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'Université de Lyon 1.

Rens. : Hervé Colinet, tél. 02 23 23 64 38, herve.colinet@univ-rennes1.fr

LES ÉCHOS DE L'OUEST

ENTREPRISES

UN INCUBATEUR À SAINT-BRIEUC

● L'agglomération de Saint-Brieuc va se doter d'un incubateur d'entreprises, Open Bay. Il a été prévu d'accueillir dix à quinze start-up, notamment dans le domaine de la mer et des déchets. Celles-ci seront hébergées et conseillées par l'association Open Bay, porteuse du projet.

Rens. : www.saintbrieuc-agglo.fr/lagglomeration/les-deliberations

MICROSCOPIE À GRANDE VITESSE

● La société Combo Microtech a été créée le 4 octobre dernier à Cesson-Sévigné, près de Rennes. Elle est issue des recherches faites à l'IGDR⁽¹⁾. Elle commercialise une technique de pilotage de microscopes permettant de diviser par trois le temps d'acquisition des images.

⁽¹⁾Institut de génétique et développement de Rennes (CNRS/Université de Rennes 1).

Rens. : contact@combo-microtech.com

Une rentrée européenne à Rennes

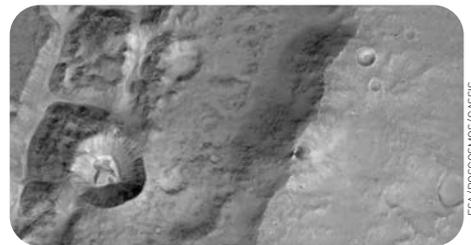
Les 27 au 29 octobre derniers, a eu lieu le lancement de la promotion 2016-2017 du Master de l'European Institute of Innovation and Technology digital school. Celui-ci est constitué d'un réseau d'universités européennes et forme dans divers domaines du numérique, en incluant des compétences en entrepreneuriat. L'Université de Rennes 1 accueille un programme sur le cloud (stockage des informations à distance) en première année de Master. En seconde année, une formation sur l'internet des objets est proposée à Télécom Bretagne. Cette spécialité concerne aussi bien la gestion de l'énergie, la ville intelligente, l'agriculture et l'industrie.

Cette année, les responsables de la formation ont choisi de mettre Rennes en avant, en y organisant le lancement du Master. Plus de 400 étudiants, venant d'une cinquantaine de pays, se sont donc réunis dans la capitale bretonne. Afin de promouvoir l'esprit entrepreneurial, un Business challenge a été organisé. Par petits groupes, les étudiants ont travaillé sur le processus de création de start-up, de l'identification des clients potentiels au positionnement par rapport à la concurrence.

Rens. : www.masterschool.eitdigital.eu

VOIR MARS EN RELIEF

● Le 28 novembre dernier, la sonde ExoMars Trace Gas Orbiter a pris ses premières photographies de la planète rouge, grâce à la caméra Cassis^[1]. Des chercheurs du Laboratoire de planétologie et géodynamique de Nantes^[2] participent au choix des sites à photographier et exploiteront les données recueillies. Les premières images sont en noir et blanc, mais les suivantes seront en couleur. Et surtout, grâce au système de stéréoscopie qui prend deux images en même temps, la topographie pourra être calculée avec une précision verticale de l'ordre de 20 m. Susan Conway s'intéresse aux événements "récents" (quelques millions d'années), comme les mouvements de blocs, le dépôt de sédiments ou la formation de nouveaux cratères d'impact. Les sujets d'étude de son collègue Nicolas Mangold datent de plus de trois milliards d'années, quand l'eau a creusé des vallées fluviales et formé des deltas sur Mars, notamment sur les sites d'atterrissages pressentis pour les prochains atterrissages de rovers martiens.



ESA/ROSCOSMOS/CASIS

^[1] Colour and stereo surface imaging system (système d'imagerie de surface couleur et stéréo).

^[2] Unité mixte de recherche CNRS, Universités de Nantes et d'Angers.

Rens. : Susan Conway, tél. 02 76 64 51 53, susan.conway@univ-nantes.fr
Nicolas Mangold, tél. 02 51 12 53 40, nicolas.mangold@univ-nantes.fr

L'IFREMER DÉMÉNAGE

● Le transfert du siège social de l'Ifremer a été validé en novembre, par la signature d'une convention entre l'Institut, la Région, le Finistère et Brest Métropole. Basé à Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine), il va déménager à Plouzané, près de Brest, où est déjà implanté le centre Ifremer Bretagne.

Rens. : www.ifremer.fr/brest

LA 5G OPTIMISÉE À RENNES

● Le centre de recherche rennais du groupe Mitsubishi Electric Europe s'associe à l'Institut de recherche b-com, basé à Rennes, pour mener des recherches sur les futurs réseaux de transmission mobiles de cinquième génération (5G), qui doivent devenir plus dynamiques et moins énergivores que la 4G.

Rens. : b-com.com

DANGEREUSES MICROALGUES

● L'Unesco a publié le guide *Microalgues toxiques et nuisibles de l'océan mondial*. Cet ouvrage regroupe les données acquises sur ces microorganismes néfastes pour les baigneurs et les consommateurs de coquillages, mais aussi pour la faune marine. Des chercheurs de l'Ifremer de Concarneau y ont participé.

Rens. : www.ifremer.fr

UNE START-UP QUI EN VOIT DE TOUTES LES COULEURS

● Hytech Imaging est une jeune entreprise de quelques mois, incubée à Brest au sein de Télécom Bretagne. Sa spécialité : la télédétection par imagerie spectrale. Alors que les photographies classiques superposent trois couleurs, le rouge, le vert et le bleu, ici des dizaines voire des centaines de valeurs sont enregistrées, sur toute la gamme du visible et de l'infrarouge. Grâce à ces données supplémentaires, il est par exemple possible, à partir d'images aériennes, de distinguer les informations provenant de la colonne d'eau de celles du fond marin. La technologie est développée dans les laboratoires depuis une trentaine d'années. Les deux fondateurs, Marc Lennon et Nicolas Thomas, veulent la rendre plus accessible, notamment en utilisant des drones (photo). La start-up a déjà un certain nombre de contrats, notamment avec le Shom^[1], sur la topographie des fonds marins, ou avec le Cnes^[2], pour le suivi de la biodiversité du couvert forestier en



HYTECH IMAGING

Guyane. Pour accompagner cette expansion, deux ingénieurs ont rejoint la société en novembre dernier.

^[1] Service hydrographique et océanographique de la marine. ^[2] Centre national d'études spatiales.

Rens. : Marc Lennon, tél. 06 22 41 89 93, marc.lennon@hytech-imaging.fr

RÉCOMPENSES

UNE MÉDAILLE POUR LA TERRE

● L'Union européenne des géosciences a donné le nom du futur lauréat de la médaille Arthur Holmes 2017 : Jean-Pierre Brun, professeur émérite à l'Université de Rennes 1, est récompensé pour ses recherches sur la tectonique des plaques et la formation des montagnes et des rifts.

Rens. : osur.univ-rennes1.fr/news/la-medaille-arthur-holmes-2017-de-legu.html

UNE ÉTOILE POUR LA MER

● Chercheur à l'Ifremer de Brest, Pierre-Yves Le Traon a reçu un prix Les étoiles de l'Europe, qui récompense l'implication européenne des équipes de recherche. Il a coordonné le projet Euro-Argo, qui visait à développer des flotteurs autonomes mesurant en temps réel la salinité et la température des océans.

Rens. : www.ifremer.fr/Actualites-et-Agenda/Toutes-les-actualites

CHANGEMENT DE TÊTE

NOUVEAU PRÉSIDENT AU CANCÉROPÔLE

● Loïc Vaillant a été élu président du Cancéropôle Grand Ouest (CGO) et succède donc à Patrick Bourguet. Professeur des universités et praticien en dermatologie, il était vice-président du CGO depuis 2014.

Rens. : www.canceropole-grandouest.com



Un mystérieux plateau sous-marin

Des géologues brestois étudient une zone originale au large de la Guyane.

Le plateau de Demerara, situé entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres sous la surface de la mer, au large de la Guyane, intrigue. Première particularité, il est à la jonction entre deux océans d'âges différents : d'un côté l'océan Atlantique central, qui s'est ouvert au jurassique, et de l'autre l'Atlantique équatorial, plus jeune, daté du crétacé. Deuxièmement, les bordures de ce plateau correspondent à des transitions entre des domaines océaniques et continentaux, appelées marges continentales passives. Alors que la majorité des marges résultent de mouvements de divergence, la bordure nord du plateau correspond à un mouvement de coulisement. L'origine de ce type de plateau marginal reste énigmatique.

Pour répondre à ces questions, la campagne Margats a été menée, du 20 octobre au 16 novembre dernier, à bord d'un navire de l'Ifremer. Elle est le fruit d'une collaboration entre plusieurs organismes de recherche⁽¹⁾. Au moyen d'ondes acoustiques, les chercheurs ont étudié les propriétés physiques et l'organisation des couches géologiques du plateau sur une trentaine de kilomètres d'épaisseur. « *La première information est que les enregistrements réalisés sont d'une grande qualité, ce qui révèle une structure homogène, qui conduit bien les ondes acoustiques. Ceci orienterait plutôt vers une origine volcanique du plateau, en lien avec l'ouverture de l'Atlantique* », commente David Graindorge, de l'UBO⁽²⁾.

⁽¹⁾ Ifremer et les Universités de Bretagne Occidentale, de Perpignan, de Grenoble-Alpes, de Guyane, des Antilles et du Suriname. ⁽²⁾ Université de Bretagne Occidentale.

Rens. : David Graindorge, tél. 02 98 49 88 29, david.graindorge@univ-brest.fr

Des chercheurs ont montré que le chien a coévolué avec l'homme, pour digérer ses restes alimentaires.

Le chien mange comme son maître

Les chiens ont été domestiqués il y a plus de 15 000 ans, en Europe et en Asie⁽¹⁾. Les premiers compagnons des chasseurs-collecteurs étaient des loups, qui mangeaient nos restes de viande et de poisson. Quelques milliers d'années plus tard, au néolithique, quand l'homme est devenu un agriculteur sédentaire, les chiens domestiqués se sont adaptés à notre nouvelle alimentation : ils ont évolué avec nous pour digérer l'amidon des céréales.

Cette évolution est inscrite dans le génome des chiens depuis 7 000 ans. Les chiens les plus aptes à digérer l'amidon (ceux dont le

gène Amy2B a été dupliqué) avaient un avantage adaptatif. Cette découverte, réalisée en étudiant l'ADN de quatre-vingt-huit spécimens de chiens de sites archéologiques, en Europe et en Asie, est le fruit d'une recherche pluridisciplinaire (archéozoologie, paléogénétique, génomique), avec Christophe Hitte, bio-informaticien et spécialiste de génétique à l'Institut de génétique et développement de Rennes. Elle a été publiée dans la revue *Royal Society Open Science* en novembre dernier.

⁽¹⁾ Lire *Sciences Ouest* n° 344 - septembre 2016.

Rens. : Christophe Hitte, tél. 02 23 23 47 77, hitte@univ-rennes1.fr

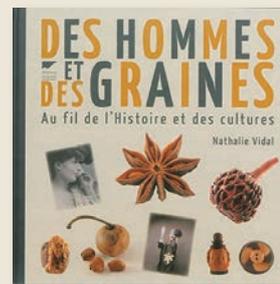
LIVRES Les coups de cœur de la Bibliothèque de Rennes Métropole



MARS PLANÈTE ROUGE

● Avant le télescope, la découverte du mouvement de Mars a permis de comprendre l'Univers. Puis, des sondes et des robots ont analysé la surface de la planète. Le lancement de missions habitées semble être la prochaine étape. Diplômé en astronomie, Giles Sparrow évoque l'histoire de l'observation de Mars.

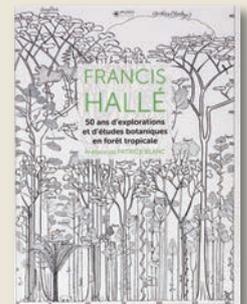
Giles Sparrow, Delachaux et Niestlé, 2016.



DES HOMMES ET DES GRAINES

● Depuis au moins 30 000 ans, les graines (céréales, légumineuses et épices) sont une source de nourriture mais aussi de boissons, d'objets ornementaux, de produits de beauté et de jeux. Historienne d'art et archéologue, Nathalie Vidal retrace leurs utilisations au fil du temps et des cultures.

Nathalie Vidal, Delachaux et Niestlé, 2016.



50 ANS D'EXPLORATIONS ET D'ÉTUDES BOTANIQUES EN FORÊT TROPICALE

● Francis Hallé, célèbre botaniste, explore depuis 50 ans les forêts tropicales. Au cours de ses explorations, il a réalisé 8 000 dessins. Ce livre reprend par ordre chronologique ses études botaniques : dessins de flore et d'arbres, croquis de terrain, illustrations et anecdotes liées à ses expéditions.

Francis Hallé, Museo Éditions, 2016.

Retrouvez ces ouvrages en prêt au 3^e étage de la Bibliothèque de Rennes Métropole, Les Champs Libres - pôle Sciences et vie pratique. www.bibliotheque-rennesmetropole.fr

LES ÉCHOS DE L'OUEST

DIGITAL

LES ENTREPRISES ET LE NUMÉRIQUE

● La Fondation Rennes 1 a inauguré le 10 novembre dernier une nouvelle chaire, sur les liens entre la responsabilité sociétale des entreprises (RSE), l'innovation et la transformation numérique. Elle est portée par Thierry Pénard, professeur d'économie à l'Université de Rennes 1.

Rens. : thierry.penard@univ-rennes1.fr

RECHERCHES MARINES

UN INSTITUT FRANCO-QUÉBÉCOIS

● Le 14 octobre dernier, les Premiers ministres français et québécois ont officialisé la création de l'Institut France-Québec pour la coopération scientifique en appui au secteur maritime. Celui-ci est coprésidé par le président de l'Université de Bretagne Occidentale, Matthieu Gallou, et par le recteur de l'Université du Québec.

Rens. : www.univ-brest.fr

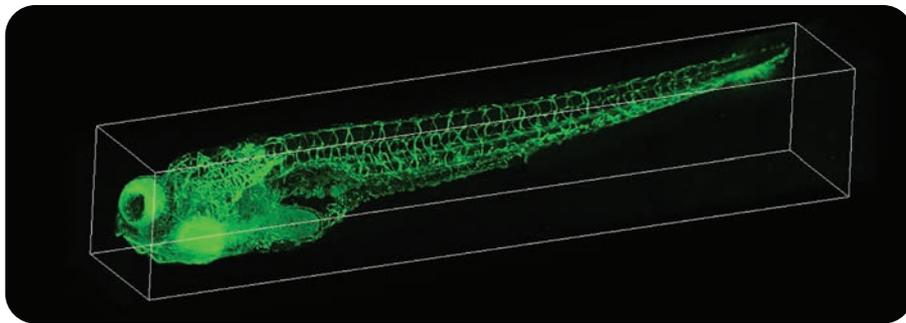
UN LABO SUR LA PEINTURE MARINE

● Le Laboratoire de biotechnologie et chimie marines, de l'Université Bretagne Sud, s'est associé à la société Nautix, dans le Morbihan, pour créer un laboratoire commun dédié à l'étude de peintures écoresponsables antifouling. Il a été inauguré le 30 novembre dernier et porte le nom de Safer (Solutions antifouling écoresponsables).

Rens. : www.univ-ubs.fr

Des chercheurs ont conçu un protocole pour reconstituer les larves et les organes de poissons en 3D.

Modélisés jusqu'à la cellule



MAXENCE FRETAUD

Voir les cellules sous tous les angles et même se promener dans un organe. Ce rêve est devenu réalité dans le Laboratoire de physiologie et génomique des poissons (LPGP), à l'Inra de Rennes. Depuis 2012, l'équipe reconstitue les larves et appareils reproducteurs des poissons zèbres en trois dimensions, dans le cadre du projet Tefor⁽¹⁾. Ce dernier propose des techniques d'imagerie innovantes pour étudier l'expression des gènes ou l'action de molécules. Actuellement, le laboratoire cherche à comprendre pourquoi une lignée de femelles poissons zèbres est quasiment stérile. Pour cela, elle a modélisé leurs ovaires. « On peut repérer à quel stade sont les ovocytes en fonction de leur taille et les compter, explique Violette Thermes, responsable du projet au sein du LPGP. On

s'aperçoit que leur nombre augmente jusqu'à un certain stade puis diminue. Le gène étudié semble bloquer le passage au stade suivant. »

Mais avant d'obtenir ce résultat, il faut pouvoir observer un organe entier au microscope. La première étape consiste à rendre les cellules transparentes au moyen de traitements chimiques. Mais l'objet à observer reste trop épais. Un système spécial a donc été conçu. Il permet de découper l'organe tout en l'observant au microscope. Il est ainsi possible de prendre des photographies couche après couche. Cette banque d'images peut ensuite être utilisée pour reconstituer l'organe en 3D à l'aide d'un logiciel.

⁽¹⁾ Transgénération pour les études fonctionnelles sur les organismes modèles (CNRS, Inra, Inserm, Université d'Auvergne).

Rens. : Violette Thermes, tél. 02 23 48 57 20, violette.thermes@inra.fr

LES PRIX DE L'ACADÉMIE

● Deux chercheurs de l'Institut des sciences chimiques de Rennes⁽¹⁾ ont obtenu un prix 2016 de l'Académie des sciences. Laurent Calvez⁽²⁾, maître de conférences au sein de l'équipe Verres et céramiques, a reçu le prix Lamb, pour ses travaux concernant la Défense nationale. Jean-Yves Saillard, professeur émérite de l'équipe Chimie théorique inorganique (voir p. 22), celui de la Fondation franco-taiwanaise, pour les échanges scientifiques entre les deux pays que ses travaux avec Chen-Wei Liu, de l'Université Dong Hwa de Taiwan, ont suscités.

⁽¹⁾ Unité mixte de recherche CNRS, Université de Rennes 1, École nationale supérieure de chimie de Rennes, Insa Rennes.

⁽²⁾ Voir Sciences Ouest n° 293 - décembre 2011.

Rens. : www.academie-sciences.fr/fr/Table/Prix-et-medailles/Laureats/

DISPARITIONS DE PLANTES

● Vous ne verrez plus de tulipes sauvages ni d'ivraies du lin en Bretagne, ces deux espèces ont disparu de la région. Le conservatoire national de botanique de Brest a élaboré la première liste rouge de la flore vasculaire de Bretagne, validée par l'IUCN⁽¹⁾ France. Une synthèse à destination du grand public vient d'être publiée. Elle fait état du niveau de menace pesant sur les espèces indigènes au niveau régional. Sur les 1 452 fougères et plantes à fleurs évaluées, 16 % sont considérées comme éteintes ou menacées.

⁽¹⁾ Union internationale pour la conservation de la nature.

Rens. : Conservatoire botanique de Brest, tél. 02 98 41 88 95, www.cbnbrest.fr

CARTOGRAPHIE SOUS-MARINE

● Le centre Ifremer Bretagne a coordonné le projet Euseamap, qui visait à rassembler les données existantes sur les fonds marins européens. « Nous avons mis en place un protocole de cartographie en 2010, explique Mickaël Vasquez, ingénieur à l'Ifremer. La seconde phase du projet, achevée en septembre dernier, a permis d'étendre la couverture géographique. » Ainsi, l'ensemble des côtes européennes, de la Norvège à la Méditerranée orientale en passant par l'Islande, a été recensé. Comme il est impossible d'échantillonner les espèces biologiques peuplant chaque milieu à une si grande échelle, les chercheurs se sont concentrés sur les indicateurs physiques, comme la géologie des fonds marins, le courant, la température ou la salinité. L'ensemble de ces données permet de répertorier différents habitats marins, susceptibles d'abriter des communautés d'espèces différentes. La carte, en accès libre, est une base pour le suivi et la gestion des environnements marins.

Rens. : www.emodnet-seabedhabitats.eu
Mickaël Vasquez, tél. 02 98 22 46 23, Mickael.Vasquez@ifremer.fr



JEAN-PIERRE BOZARD

GÉOLOGIE

APPEL SUR LA CYBERSÉCURITÉ

● L'Union européenne lance un appel à projets "Aborder les menaces avancées en cybersécurité ainsi que les acteurs de ces menaces". Il est ouvert jusqu'au 24 août 2017. Deux objectifs sont fixés : mieux détecter les cyberattaques et développer les processus et les technologies pour les contrer.

Rens. : Enterprise Europe Network, tél. 02 57 24 00 29, een@bretagne.cci.fr

Formations en santé

L'université de Rennes 1 propose chaque année une offre évolutive de formations courtes ainsi qu'une soixantaine de diplômes dans tous les domaines de la pratique médicale. Dispensés à temps partiel, ils sont compatibles avec votre activité professionnelle.

En 2016, notre offre s'enrichit de 8 diplômes :

- DIU chirurgie et de pathologie orbito-palpébro-lacrymales
- DIU pathologie du football
- DU éthique médicale
- DU formateur en simulation
- DU oncologie
- DU suivi gynécologique pour les sages-femmes
- DU urgences vitales pour les médecins généralistes

Tél. : 02 23 23 39 50
sfc.univ-rennes1.fr/sante



Une agence de rencontres pour les maths

MATHÉMATIQUES L'Agence Lebesgue met en relation des chercheurs en mathématiques avec le monde socio-économique.

Les maths sont bien plus que les formules que nous avons mémorisées pendant notre scolarité. Optique, construction automobile ou archéologie, elles sont partout. Mais comment trouver l'équipe de recherche en mathématiques capable de répondre au mieux à ses besoins lorsque l'on est une entreprise ou une équipe de recherche d'une autre discipline ? C'est pour répondre à ce problème qu'a été inaugu-

rée, le 10 novembre dernier, l'Agence Lebesgue. Elle se veut un "guichet unique", pour favoriser ces collaborations. L'entité est issue du Centre Henri Lebesgue, qui regroupe les mathématiciens de Rennes, Nantes, Brest, Angers et Vannes. Presque tous les domaines des mathématiques y sont représentés, de la statistique à la géométrie, en passant par la mécanique. L'agence aura également une action de formation, en facilitant les relations pour les

stages et les thèses, et en participant à la mise en place de formations continues.

Modifier un laser

Lors de l'inauguration de l'agence, des mathématiciens ont présenté leurs travaux en dehors des frontières de leur discipline. Stéphane Balac, de l'Université de Rennes 1, a ainsi exposé ses projets en collaboration avec des physiciens du laboratoire Foton⁽¹⁾, basé à Lannion, avec lequel l'Irmar⁽²⁾ collabore depuis cinq ans.

L'une des questions qu'il a contribué à résoudre était : comment transformer la lumière émise par un laser afin de fabriquer des cellules photovoltaïques ? « Les lasers disponibles n'émettaient pas la longueur d'onde voulue et surtout n'avaient pas la puissance requise. Le recours au laser à fibre a permis d'obtenir ces deux particularités », explique-t-il. Tout l'enjeu était de calculer quelles caractéristiques devait avoir la fibre pour obtenir un faisceau lumineux assez puissant pour pénétrer le matériau et le découper. Le mathématicien travaille actuellement à un autre projet, sur des microrésonateurs. Il s'agit de systèmes microscopiques permettant de faire "résonner" et de stocker la lumière en la faisant tourner sur elle-même à l'intérieur d'une cavité. Les caractéristiques de la résonance variant en fonc-

Un réseau national

L'Agence Lebesgue fait partie d'un réseau national. En 2011, le CNRS a créé l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (Amies). Celle-ci fait connaître les liens entre les mathématiques et les entreprises, notamment à travers des journées de rencontres et des semaines d'études maths-entreprises, au cours desquelles des doctorants et postdoctorants en mathématiques apportent un regard neuf sur des problèmes rencontrés par des entrepreneurs. D'autres déclinaisons locales existent, notamment à Grenoble, Strasbourg, Versailles ou Orléans.

MC

tion de l'environnement des microrésonateurs, ces derniers peuvent servir de capteurs chimiques ou biologiques. Mais pour cela, il faut déterminer la géométrie et les dimensions appropriées.

Cryptage à toute épreuve

La cryptographie est une discipline bien connue pour son utilisation des mathématiques. L'équipe de Sylvain Duquesne, de l'Université de Rennes 1, a ainsi travaillé avec Orange pour rendre les cartes SIM plus sécurisées. L'enjeu est de trouver un calcul facile à faire dans un sens (pour l'encodage), mais difficile à résoudre dans l'autre (pour le décodage). Actuellement, les systèmes du monde entier utilisent entre autres une courbe elliptique recommandée par la NSA⁽³⁾. Problème : il a été récemment révélé par Edward Snowden, que la NSA possédait la "clé" de déchiffrement pour certains systèmes ! L'entreprise de téléphonie mobile est donc à la recherche d'une autre courbe utilisable, assez robuste pour être fiable, mais ne nécessitant que des calculs effectuables sur une carte SIM.

Les entreprises, même internationales, font également appel aux chercheuses et chercheurs rennais. C'est le cas de la société Sanden, originaire du Japon et dont la plus grosse usine hors de son pays natal est à Tinténiac, en Ille-et-Vilaine ! Spécialisée dans la construction de climatiseurs pour voitures, elle a collaboré avec des chercheurs de l'Irmar pour modéliser le fonctionnement de l'appareil afin d'augmenter son efficacité et diminuer le bruit. Des exemples de partenariats que la nouvelle agence compte bien continuer à développer.

MARYSE CHABALIER

⁽¹⁾Fonctions optiques pour les technologies de l'information, Unité mixte de recherche CNRS, Université de Rennes 1 (Enssat et IUT de Lannion), Insa de Rennes. ⁽²⁾Institut de recherche en mathématiques de Rennes (CNRS, Universités de Rennes 1 et 2, École normale supérieure de Rennes et Insa de Rennes). ⁽³⁾Agence nationale de sécurité américaine.

CONTACT

Agence Lebesgue
contact@agence.lebesgue.fr

AGROALIMENTAIRE Modifier l'alimentation des animaux a des effets positifs sur la santé, l'écologie et l'économie.

Qui mange bien nourrit bien

Changer le menu des animaux pour améliorer notre équilibre alimentaire. C'était l'objectif du projet Agralid, coordonné par l'Inra de Rennes⁽¹⁾ et qui vient de s'achever par un séminaire à Paris le 8 novembre dernier. Le projet a réuni des chercheurs de différentes disciplines autour de l'intérêt d'augmenter la quantité d'acides gras oméga-3 dans l'alimentation animale. Le but final est de combler le déséquilibre entre les apports en oméga-3 et 6 chez l'homme. « *Le rapport recommandé est de cinq oméga-6 pour un oméga-3*, explique Jacques Mourot, directeur de recherche à l'Inra de Rennes et coordinateur du projet, *mais actuellement il est plutôt entre quinze à trente oméga-6 pour un oméga-3*. » Or, la proportion en acides gras est essentielle pour le bon fonctionnement du cerveau et du système cardio-vasculaire. Un des leviers possibles est donc de consommer des produits venant d'animaux ayant reçu une alimentation riche en oméga-3. Cette idée est notamment soutenue depuis plus de quinze ans par la filière Bleu-Blanc-Cœur⁽²⁾, partenaire du projet.

Du lin et des algues

« *L'originalité du projet Agralid est d'avoir pris en compte en même temps les aspects nutri-*

tionnels sur plusieurs espèces animales, les impacts sur l'environnement et l'acceptation par le consommateur », déclare le chercheur.

Son équipe a testé plusieurs rations sur 70 porcs, autant de poules et 48 vaches laitières. L'une d'elles contenait des graines de lin⁽³⁾, connues pour être riches en un précurseur de la famille des oméga-3, l'ALA⁽⁴⁾. Mais l'organisme a aussi besoin d'une forme allongée de ce précurseur, le DHA⁽⁵⁾. Il est capable de convertir l'ALA en DHA, mais le taux de conversion n'est que de 2 %. Les scientifiques ont donc eu l'idée de tester, pour la première fois, une ration avec des microalgues, contenant directement du DHA. Un succès, sauf pour les vaches, qui n'ont pas vraiment supporté le régime à la dose testée, car les algues ont fermenté dans leurs estomacs.

Au final, la viande, le lait ou les œufs des animaux nourris avec une ration riche en oméga-3 (lin et/ou algues) contiennent environ cinq fois plus d'oméga-3 que leurs équivalents issus d'élevages standards.

Et en plus d'être bons pour la santé humaine, ces produits ont un meilleur goût, d'après les dégustateurs professionnels interrogés par les chercheurs. L'environnement est aussi ga-

gnant, puisque l'élevage des vaches nourries avec du lin dégage ainsi 20 % de gaz à effet de serre en moins. Et du côté des éleveurs ? Les aliments sont certes plus chers, mais ceci est compensé par le prix de vente des produits, également plus élevé. Et en plus, les animaux sont eux aussi en meilleure santé !

Prêts à payer

D'autres chercheurs participant au projet ont évalué la réaction de 300 personnes, dans des restaurants d'entreprise. Les menus qui mettaient en avant l'origine et le mode de production des aliments ont été les plus choisis et les consommateurs étaient prêts à les payer jusqu'à 10 % plus cher. Les résultats du projet seront bientôt mis à disposition des nutritionnistes et du grand public, à travers un outil d'aide à la décision, qui permettra de voir en un seul coup d'œil les conséquences nutritionnelles et environnementales de son repas.

MARYSE CHABALIER

⁽¹⁾Inra/Agrocampus Ouest, en collaboration avec l'Inra de Tours, la coopérative Terrena, l'école supérieure d'agriculture d'Angers, Valorex, Bleu-Blanc-Cœur et l'école de commerce Audencia. ⁽²⁾Voir *Sciences Ouest* n° 182 - novembre 2001.

⁽³⁾Les graines de lin n'étant pas digestibles telles quelles, elles sont d'abord cuites, voir *Sciences Ouest* n° 341 - avril 2016. ⁽⁴⁾Acide alpha-linolénique. ⁽⁵⁾Acide docosahexaénoïque.

CONTACT

Jacques Mourot, tél. 02 23 48 50 60,
jacques.mourot@rennes.inra.fr

Les vaches nourries avec des aliments riches en oméga-3 produisent un lait cinq fois plus riche en cet acide gras.

CC-BY-SA-ALAIN G





L'Institut des sciences chimiques de Rennes (ISCR) a fêté ses 10 ans cette année. C'est une Unité mixte de recherche qui regroupe l'ensemble des forces académiques du site rennais issues du CNRS, de l'Université de Rennes 1, de l'École nationale supérieure de chimie de Rennes (ENSCR) et l'Insa, soit plus de 280 personnels permanents de chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs et techniciens.

JEAN-CLAUDE MOSCHETTI/CNRS PHOTOTHÈQUE

LA CHIMIE CONT

DES CHIMISTES ONT CRÉÉ UNE BOÎTE "LUMINEUSE" QUI TRANSPORTE LE MÉDICAMENT DANS LE CORPS. **LA NANOMÉDECINE AVANCE.**

Ils ne s'attendaient pas à faire cette découverte. Fabienne Gauffre, physico-chimiste à l'Institut des sciences chimiques de Rennes⁽¹⁾, son doctorant Flavien Sciortino et sa collègue biochimiste Soizic Chevance ont mis au point une nanocapsule innovante pour la médecine. « Notre objectif initial, en 2014, était moins ambitieux, raconte Fabienne Gauffre. Nous cherchions à faire des agents de contraste pour l'imagerie médicale. » Leur capsule, qui a fait la une de la revue scientifique *ChemNanoMat*, est polyvalente : elle permet de visualiser l'intérieur de l'organisme, avec différentes imageries, tout en transportant des médicaments au bon endroit !

Les chimistes savaient depuis longtemps créer des vésicules pour transporter un principe actif jusqu'aux cellules cibles. Dans les années 80, ils ont inventé les liposomes (lire Comprendre p. 12-13). Les polymersomes sont apparus la décennie suivante. Leurs parois sont des polymères, de grandes chaînes créées par la répétition d'une même molécule. La troisième famille, née au début du siècle, sont les colloïdosomes : des nanoparticules artificielles, de plusieurs types, forment leurs parois. Les nouveaux objets créés à Rennes sont fabriqués, quant à eux, avec des polymères et des nanoparticules, dans un mélange de solvants (de l'eau et de l'alcool). Leur composition est inédite, tout comme leur fabrication.

L'expérience, réalisée par Flavien Sciortino a consisté à mettre des nanoparticules d'oxyde de fer dans un solvant. « Sous certaines conditions, des gouttes d'alcool se créent alors dans l'eau, expliquent les chimistes. Des centaines de nanoparticules se disposent autour de ces gouttes. Nous ajoutons un polymère dans la solution. Il s'accroche sur les nanoparticules et leur donne une très bonne stabilité mécanique. » C'est déjà une propriété intéressante : les liposomes, quant à eux, ne sont pas stables à très long terme.

« C'est donc une capsule »

Les chercheurs n'ont pas compris, tout de suite, ce qu'il se passait. Comment se structuraient ces agrégats inédits, dont les diamètres



P. 14 Ils attaquent la niche tumorale

NICOLAS GUILLAS



P. 15 Contre les effets secondaires

NICOLAS GUILLAS



P. 16/17 La chaleur qui tue les cellules

NICOLAS GUILLAS

TRE LE CANCER

(de 50 à 150 nm) sont inférieurs aux colloïdosomes (supérieurs à 1000 nm) ? « Nous avons découvert en 2015 que ces objets sont creux, précise Fabienne Gauffre. Nous ne cherchions pas à faire cela ! Mais si c'est creux, c'est donc une capsule. Nous pouvons mettre quelque chose à l'intérieur. » Une quatrième famille de vésicules était née.

L'objectif de départ, la création d'agrégats pour l'imagerie médicale, est déjà atteint. En collant des nanoparticules d'oxyde de fer sur ces objets, ils peuvent servir pour l'IRM⁽²⁾. Si vous y ajoutez plutôt des nanoparticules d'or, ce sont les scanners qui gagnent en contraste. Quant aux particules appelées "quantum dots", elles servent pour l'imagerie en fluorescence, utilisée en recherche. Leur membrane étant constituée à la fois de nanoparticules et de polymères, les Rennais proposent un nom pour leur création : les hybridosomes. Un choix audacieux, qui leur

Après la recherche : la valorisation

Quand vous parlez avec des scientifiques de leurs recherches sur le cancer, la conversation aboutit fatalement sur le mot "valorisation". Pour breveter ses découvertes et trouver des partenaires industriels, la chimiste Fabienne Gauffre (lire ci-contre) fait appel à la Société d'accélération du transfert de technologies (Satt) Ouest Valorisation. La biologiste Yannick

Arlot-Bonnemains⁽¹⁾ (lire p. 16) collabore aussi avec cet organisme, depuis plusieurs années.

Ouest Valorisation⁽²⁾ fait le lien entre les entreprises et les laboratoires (dont le CNRS et les universités de Bretagne et des Pays de la Loire). La France compte quatorze Satt, financées par l'État. Celle de l'Ouest est à Rennes avec des bureaux à Nantes et Brest. Elle détecte les projets

innovants des laboratoires pour les faire aboutir, en y investissant des budgets, parfois en recrutant des ingénieurs dédiés. Selon la maturité de l'innovation, la Satt Ouest Valorisation peut aussi convaincre des industriels d'acheter la technologie, ou favoriser la création d'une start-up.

NG

⁽¹⁾Autre exemple de chercheur, le pharmacologue Joël Boustie (p. 17) collabore avec la Satt, pour valoriser une molécule innovante en dermatologie.

⁽²⁾www.ouest-valorisation.fr.

sera reproché par des comités de lecture de revues scientifiques !

Ces objets se révélant être des coquilles, la découverte ira plus loin : un médicament peut y être transporté. Cette opération est même plus facile à réaliser qu'avec un colloïdosome. Le principe actif (hydrophobe en général) mélangé dans le solvant s'encapsule en effet mieux, tout seul, car il se "réfugie" à l'intérieur des gouttes d'alcool en formation. « *Les nanoparticules qui ferment la membrane sont utilisées en imagerie, et l'hybridosome encapsule des principes actifs* », résume Soizic Chevance. Imagerie, diagnostic et thérapie : cette découverte pourrait avoir des applications en nanomédecine, notamment contre le cancer.

Des biologistes de l'Institut de génétique et développement de Rennes, cosignataires de l'article dans *ChemNanoMat*, ont injecté ces hybridosomes à des souris, dont certaines avaient des tumeurs au foie. Après avoir testé leur toxicité cellulaire, ils ont démontré que les tumeurs apparaissent avec un très fort contraste. Les scientifiques veulent maintenant tester le transport et l'effet d'un médicament dans l'organisme d'une souris.

Ces découvertes à l'ISCR ont fait l'objet d'un dépôt de brevet (CNRS, Université de Rennes 1). Elles sont nées dans l'écosystème scientifique rennais, en s'appuyant sur des plates-formes de recherche⁽³⁾. Pour breveter des applications, les chimistes cherchent désormais des partenaires industriels pour l'imagerie, médecins et biologistes. La Société d'accélération du transfert de technologies Ouest Valorisation⁽⁴⁾ y travaille.

Une recette à réutiliser

Les valorisations pourraient être multiples. Ces hybridosomes peuvent non seulement tuer des cellules cancéreuses, mais également des bactéries. Donnez-leur des nanoparticules d'argent, avec un effet antibactérien, greffez sur les polymères des agents qui ciblent une bactérie, et mettez à l'intérieur le principe actif : cette recette permettra peut-être de réduire le dosage et la durée de traitement des antibiotiques. Une autre application concerne les métamatériaux, ces matériaux qui dévient la lumière, pour rendre les objets invisibles. Ceci grâce aux électrons libres des nanoparticules à la surface, mais également en mettant à l'intérieur de la vésicule des molécules aux propriétés optiques. Des recherches sont menées dans ce sens avec des chercheurs bordelais.

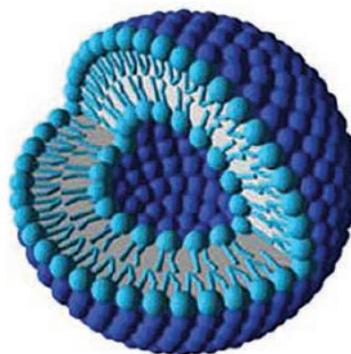
NICOLAS GUILLAS

⁽¹⁾UMR CNRS, Université de Rennes 1, ENSCR, Insa Rennes. ⁽²⁾Imagerie par résonance magnétique. ⁽³⁾Biosit biosit.univ-rennes1.fr/, MRic microscopie.univ-rennes1.fr, plate-forme H2P2 inserm-umr991.univ-rennes1.fr/?page_id=73. ⁽⁴⁾www.ouest-valorisation.fr.

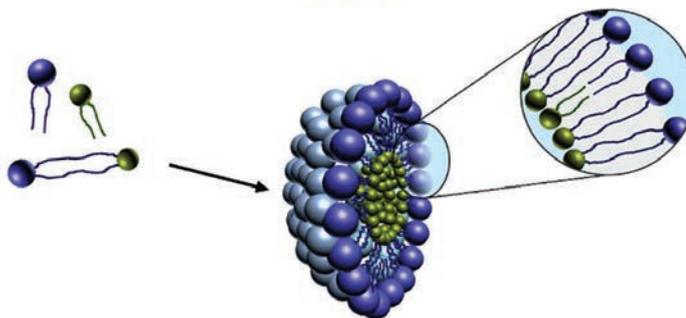
CONTACT

Fabienne Gauffre, tél. 02 23 23 63 98, fabienne.gauffre@univ-rennes1.fr

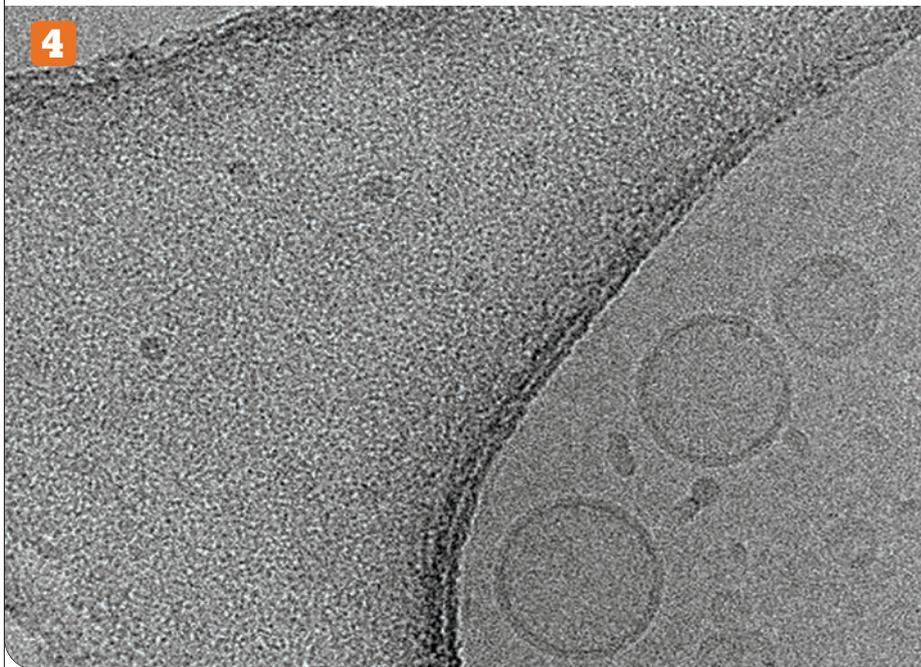
1



2



4



5

COMPRENDRE

De nouveaux traitements ciblés et no

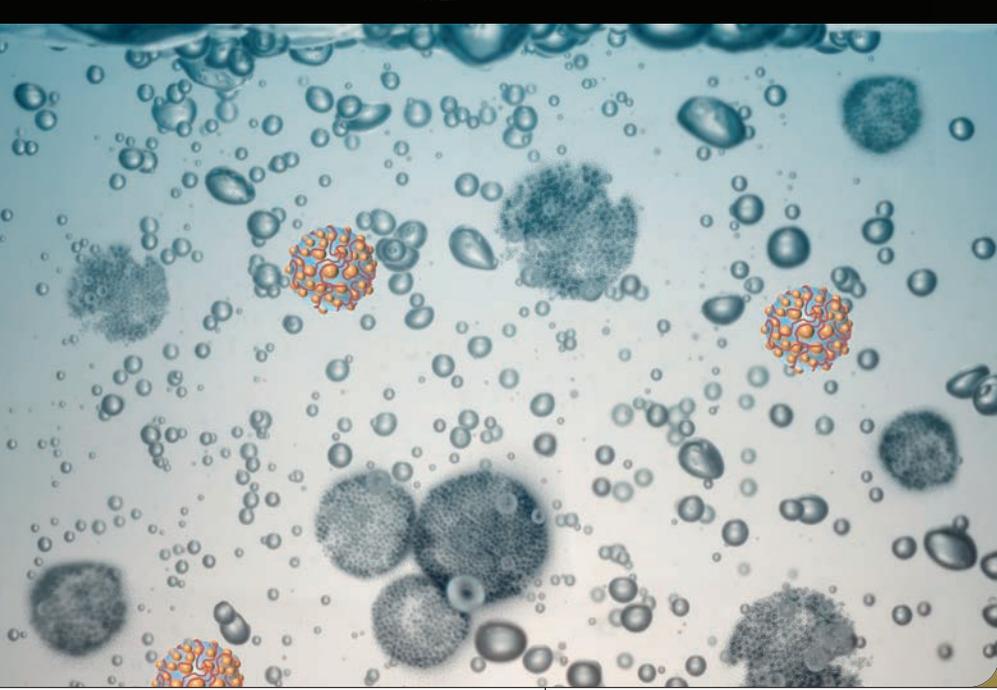
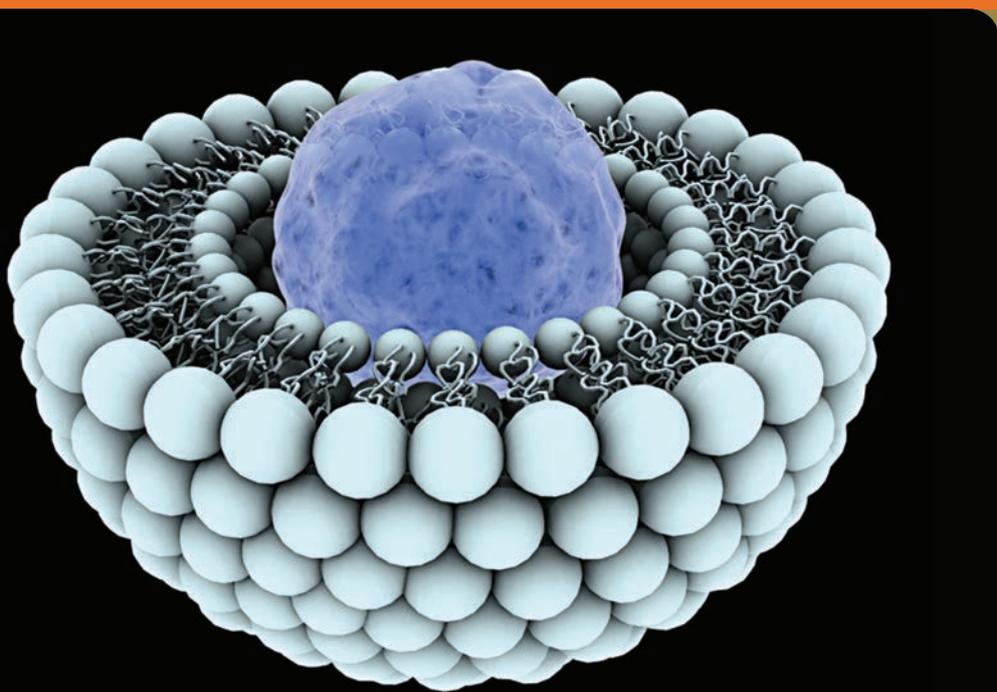
Pour apporter un médicament (principe actif) à un endroit précis dans le corps, une des stratégies consiste à fabriquer des capsules de transport (ou vecteurs). Ces molécules de transport agissent aussi comme des boucliers pour aider le principe actif à franchir les différentes barrières biologiques du corps (salive, suc gastrique, parois des tissus et organes...) qui pourraient le gêner dans sa progression et même le dégrader.

LA FABRICATION

Pour fabriquer ces capsules, les chimistes peuvent utiliser des lipides, qui forment des

liposomes, des polymères de sucres ou d'acides aminés, qui s'organisent en polymersomes, ou différentes nanoparticules (colloïdosomes).

Au final, les capsules mesurent entre 10 et 100 nm⁽¹⁾ : elles doivent être assez petites pour franchir les pores des cellules et assez grosses pour contenir le principe actif. À l'École nationale supérieure de chimie de Rennes (ENSCR), Thierry Benvegnu et son équipe⁽²⁾ travaillent plutôt sur des liposomes particuliers appelés archaeosomes. Ils n'utilisent pas de lipides du commerce mais les fabriquent eux-mêmes sur le modèle de ceux des *Archaea*, des organismes qui ont



Les transporteurs de médicaments

- 1** Les capsules ou vecteurs les plus simples sont constitués d'une double couche de phospholipides naturels, qui s'organisent spontanément en sphère avec un vide au milieu. On les appelle des liposomes. Ils sont peu stables.
- 2** Les archaeosomes sont plus stables car fabriqués avec des lipides qui ressemblent à ceux des *Archaea*, des organismes qui vivent dans des conditions extrêmes.
- 3** Le centre des vecteurs peut accueillir un principe actif (médicament).
- 4** Photographie d'archaeosomes observés par microscopie électronique à transmission.
- 5** Les hybridosomes, schématisés ici par des sphères colorées, sont des vecteurs qui ont une double fonction : en plus de transporter un principe actif, ils sont aussi visibles en imagerie médicale grâce à des nanoparticules fixées à leur surface.

1/3 - FRANÇOIS CAILLAUD/SAGASCIENCE/CNRS PHOTOTHÈQUE
2/4 - DR
5 - WWW.ANTOINEGARCIA.COM

on toxiques

des membranes très résistantes dues à leurs conditions de vie extrêmes (température élevée, pH très acide).

LA STABILITÉ/LA LIBÉRATION

Une fois le liposome construit, tout l'enjeu est d'y introduire le principe actif et d'obtenir quelque chose de suffisamment stable pour arriver jusqu'à la cellule cible (sans le libérer avant, ce qui peut être dommageable) ou pour être conservé avant d'être administré. Une fois le vecteur à bon port, la libération du principe actif se fait assez naturellement dans les cellules, grâce notamment à un phénomène d'acidification.

LA SÉLECTIVITÉ

Comment la capsule trouve-t-elle sa cible ? Dans le cas du cancer, les scientifiques tirent profit du système : les capillaires sanguins en contact avec les cellules cancéreuses ont des pores plus importants que ceux en contact avec les organes sains pour favoriser l'irrigation nécessaire à la multiplication. Les vecteurs se concentrent donc naturellement près des cellules cancéreuses.

Il y a encore mieux : comme les cellules cancéreuses ont besoin de vitamines pour se multiplier, leur membrane est suréquipée en récepteurs de vitamines. Les chimistes ont donc ajouté la vitamine B9 (d'autant plus intéressante qu'elle n'est pas toxique) à l'extérieur des vecteurs pour qu'ils soient mieux captés. « Nous avons testé ce montage in vivo sur des souris^[9] et démontré que cet accrochage grâce à la vitamine B9

augmente le transfert du principe actif, ce qui permet de diminuer sa quantité d'un facteur 30 à l'intérieur », explique Thierry Benvegno.

LES VECTEURS DE DEMAIN

Thierry Benvegno et son équipe travaillent aussi sur la sélectivité du principe actif en fonction du type de cancer. Dans le domaine de l'imagerie médicale, d'autres chimistes rennais se sont aperçus que leurs molécules étaient creuses et pouvaient servir de capsules ! Un nouveau type de vecteur est né, permettant de voir les tumeurs avant de les traiter (lire p. 10 à 12). **NB**

^[1] 1 nm = 10⁻⁶ m. ^[2] ISCR, Chimie organique et supramoléculaire. Cette équipe fait partie de la plate-forme SynNanoVect : www.univ-brest.fr/synnanovect, dirigée par Tristan Montier, biologiste à l'Inserm/UBO. Lire *Sciences Ouest* n° 281 - novembre 2010. ^[3] Dans le cadre d'un projet ANR mené avec l'entreprise malouine Kélia avec un principe actif d'origine marine pour traiter un cas de cancer du côlon.

Rens. : Thierry Benvegno, tél. 02 23 23 80 60, thierry.benvegno@ensc-rennes.fr

ILS ATTAQUENT LA NICHE TUMORALE

DES CHERCHEURS EN IMMUNOLOGIE ONT RÉUSSI À INHIBER UNE CELLULE CANCÉREUSE... **ET CELLES QUI LA FONT VIVRE.**

C'est une stratégie de guerre totale contre certains cancers que des chercheurs en immunologie ont mis au point. Elle consiste à utiliser des cellules tueuses, chargées d'une arme nouvelle, pour bloquer les cellules tumorales et neutraliser le microenvironnement qui les fait vivre. Cette méthode franco-américaine fait l'objet d'un article dans la revue *Cell*. En soi, c'est déjà un événement : pour que la première revue mondiale de biologie présente vos travaux, ils doivent changer la vision d'un domaine de recherche ! En l'occurrence l'immunothérapie, notamment la lutte contre les lymphomes.

Ces cancers touchent des ganglions et sont les sixièmes les plus fréquents en France. À Rennes, Karin Tarte, professeur d'immunologie et responsable de l'UMR⁽¹⁾ Microenvironnement et cancer⁽²⁾, signe l'article avec Frédéric Mourcin, chercheur à l'Établissement français du sang. Leur groupe réunit depuis 2013 une vingtaine de scientifiques⁽³⁾, en collaboration avec Hans-Guido Wendel, du centre de recherche MSKCC⁽⁴⁾, à New York.

La cellule n'a plus de frein

Les scientifiques savaient déjà, depuis 2011, que certains lymphomes sont associés à une mutation génétique. Elle a été identifiée chez 40 % des malades. Parmi les milliers de protéines que nos cellules fabriquent, les biologistes ont observé que les patients, ayant cette mutation génétique, n'en produisaient plus une, appelée HVEM⁽⁵⁾. Elle manque à la surface de leurs cellules tumorales. Mais quel était le lien exact avec le cancer ? Personne ne le savait. « *La présence de cette molécule, sur une cellule normale ou tumorale, induit un signal inhibiteur*⁽⁶⁾, explique Karin Tarte. *La cellule arrête alors de proliférer. L'absence de HVEM a une première conséquence : la cellule tumorale n'a plus de frein, elle n'arrête pas de se multiplier.* »

Un enjeu majeur

En 2015, les chercheurs new-yorkais ont montré cet effet direct de HVEM sur la tumeur, chez des souris. Et chez l'homme ? Les Rennais ont testé cette molécule sur des cellules tumorales de patients, mises en culture. La prolifération a été bloquée. Une deuxième conséquence indirecte a été observée, chez la souris et sur des cellules humaines : « *HVEM n'a pas seulement un effet sur la cellule tumorale elle-même, mais aussi sur les cellules du microenvironnement de la tumeur. Elle les inhibe.* » C'est là que cette recherche prend



Les chercheurs rennais Karin Tarte et Frédéric Mourcin signent un article dans *Cell*, la première revue mondiale de biologie.

NICOLAS GUILLAS

son importance. Comprendre les niches tumorales, ces milliards de cellules autour de la cellule cancéreuse, qui l'aident à vivre et à se multiplier, est un enjeu majeur en thérapeutique.

« *Nous n'avions jamais fait le lien entre une altération génétique et un microenvironnement de soutien* », souligne Karin Tarte. En comprenant mieux comment fonctionne une tumeur, cette première a un intérêt clinique : des stratégies thérapeutiques s'en inspireront. Mais cette découverte, à elle seule, n'aurait pas suffi pour convaincre le comité de lecture de *Cell* de publier ces travaux. Au début de l'année 2016, forts de ces résultats, les chercheurs se sont demandé : comment amener HVEM au bon endroit, dans la tumeur ?

Des cellules tueuses

L'idée a été d'utiliser une stratégie thérapeutique récente, différente de la chimiothérapie, en faisant appel à des cellules tueuses impliquées dans la réponse immunitaire de l'organisme : les lymphocytes T. Les chercheurs les ont prélevées sur le patient, puis modifiées : une molécule qui reconnaît les cellules tumorales y est ajoutée. Ces cellules modifiées sont appelées CAR⁽⁷⁾ T-cells. Cette

thérapie cellulaire et génétique, lourde mais révolutionnaire, date de 2012. Seulement une centaine de patients dans le monde en ont bénéficié. Le centre de recherche new-yorkais est un leader mondial dans la recherche sur les CAR T-cells.

« *Nous utilisons ces cellules tueuses, et ajoutons HVEM à l'intérieur*, résume Karin Tarte. *Quand la cellule va reconnaître la tumeur, HVEM va la détruire plus efficacement.* » Les chercheurs ont prouvé, chez la souris, cette efficacité supérieure pour éradiquer la tumeur. L'étape suivante consistera à le montrer chez l'homme. Les Rennais vont aussi continuer à étudier les caractéristiques de la niche tumorale, chez le patient. Un nouveau concept résume cette stratégie, qui consiste à délivrer des médicaments par des cellules : la micropharmacie.

NG

⁽¹⁾Unité mixte de recherche. ⁽²⁾Université de Rennes 1, Inserm et Établissement français du sang. ⁽³⁾Français, américains, suisses et canadiens. ⁽⁴⁾Memorial Sloan Kettering Cancer Center. ⁽⁵⁾Herpesvirus entry mediator. ⁽⁶⁾Lorsque la molécule se fixe au récepteur de la cellule. ⁽⁷⁾Chimeric Antigen Receptor.

CONTACT

Karin Tarte, tél. 02 23 23 45 12,
karin.tarte@univ-rennes1.fr

CONTRER LES EFFETS SECONDAIRES

DES MOLÉCULES NATURELLES MODIFIÉES COMBATTENT LE CANCER. LES CHIMISTES VEULENT AUSSI **LIMITER LEURS EFFETS SECONDAIRES.**

Un moyen de lutte contre le cancer consiste à attaquer une molécule naturelle, appelée le protéasome, présente dans toutes nos cellules.

Cette grande enzyme découpe les protéines utilisées par la cellule et l'aide à s'en débarrasser. « *Les cellules cancéreuses fonctionnent à toute allure, elles se multiplient facilement et tous leurs processus sont accélérés, rappelle Joëlle Vidal, professeur à l'Institut des sciences chimiques de Rennes⁽¹⁾. En bloquant l'activité du protéasome, le fonctionnement de la cellule tumorale est perturbé. Elle peut être tuée.* » Mais les cellules saines sont aussi atteintes, et l'attaque du protéasome a des effets secondaires importants sur l'organisme.

Une vingtaine d'équipes dans le monde, notamment à l'ISCR, étudient et améliorent des molécules de synthèse, qui sont des inhibiteurs du protéasome. Trois médicaments sont aujourd'hui sur le marché⁽²⁾. Nés aux États-Unis des résultats de la recherche internationale, ces traitements se font par injection intraveineuse ou par voie orale. Chaque médicament contient une molécule, qui entre en réaction avec le protéasome et bloque son activité.

Joëlle Vidal est une pionnière de ces recherches. Elle synthétise un nouveau type d'inhibiteurs du protéasome. La genèse de son approche remonte à l'an 2000. Cette année-là, des chercheurs japonais découvrent qu'une molécule, sécrétée par une bactérie du sol, a une action puissante sur le protéasome. « *Nous avons simplifié cette molécule naturelle et sa synthèse. Et nous avons optimisé sa structure, pour qu'elle soit reconnue par le protéasome.* » Une famille de molécules, imitant un produit naturel, a ainsi été créée.

Avec des biologistes

Ces recherches sont conduites avec des biologistes à l'UPMC Sorbonne Universités, ainsi qu'à l'Inserm, à Bordeaux et Paris 7. Outre les molécules d'origine naturelle, d'autres sont nées d'une recherche informatique systématique. Un bio-informaticien de l'Inserm Paris 7 a procédé à un « criblage virtuel » à l'ordinateur : son logiciel a testé *in silico* l'efficacité de 500 000 substances. Un millier d'entre elles sont sorties du lot, car leurs formes étaient reconnues par le protéasome. Parmi elles, 65 molécules se sont révélées avoir un pouvoir intéressant pour inhiber

l'enzyme. Les deux substances les plus prometteuses ont donné naissance à une seconde famille de produits.

Réduire la toxicité

L'un des objectifs de la chimiste est aujourd'hui de réduire la toxicité des molécules bloqueuses du protéasome, et d'éviter les effets secondaires. Quand un inhibiteur classique agit, il échange des électrons avec le protéasome. Les chercheurs parlent d'une liaison chimique covalente. « *Nos molécules, quant à elles, ont des liaisons faibles. Ce ne sont pas des électrons, mais les atomes d'hydrogène qui interagissent avec les autres atomes du protéasome. Cette interaction est vingt fois plus faible que la liaison covalente ! L'intérêt est de ne pas détruire définitivement le protéasome. La toxicité sur les cellules saines est donc limitée.* »

Ces molécules ont été testées sur des lignées de cellules cancéreuses, où leur toxicité s'est révélée suffisante. « *Si nous arrivons aussi à limiter la toxicité sur les cellules saines, cela pourrait être étendu à d'autres pathologies.* » Pour espérer, *in fine*, donner naissance à un médicament, les chimistes doivent aussi veiller à ce que leurs produits soient efficaces à très petite dose. « *Nous avons atteint des concentrations inhibitrices très faibles⁽³⁾ pour diviser par deux l'action des protéasomes* », se réjouit Joëlle Vidal. Cette efficacité ainsi que l'originalité de la structure des molécules mises au point ont fait l'objet de trois brevets. Une dizaine d'articles scientifiques, plus un à paraître, détaillent ces recherches.

Chimie médicinale

« *Nous sommes dans une démarche de chimie médicinale, où l'on propose des candidats médicaments* », résume la chercheuse... qui tempore en soulignant qu'il est « *très compliqué d'obtenir un produit que l'on retrouvera sur le marché.* » Dans son congélateur, à l'Université de Rennes 1, des petites boîtes contiennent environ 70 molécules différentes. Cela se présente sous forme de poudres blanches, avec des atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, ou d'azote à l'intérieur, mises en solution pour agir. Qui sait si l'une d'elles ne cache pas le médicament du futur ?

NG

⁽¹⁾UMR CNRS, Université de Rennes 1, ENSCR, Insa Rennes. ⁽²⁾Depuis 2003, 2012 et 2015. ⁽³⁾De l'ordre de 10 nanomolaires, c'est-à-dire 10⁻⁸ mole de produit dans un litre de liquide neutre.

CONTACT

Joëlle Vidal, tél. 02 23 23 57 33,
joelle.vidal@univ-rennes1.fr



Joëlle Vidal a créé une famille originale de molécules contre le cancer. Leur toxicité limitée ouvre des voies.

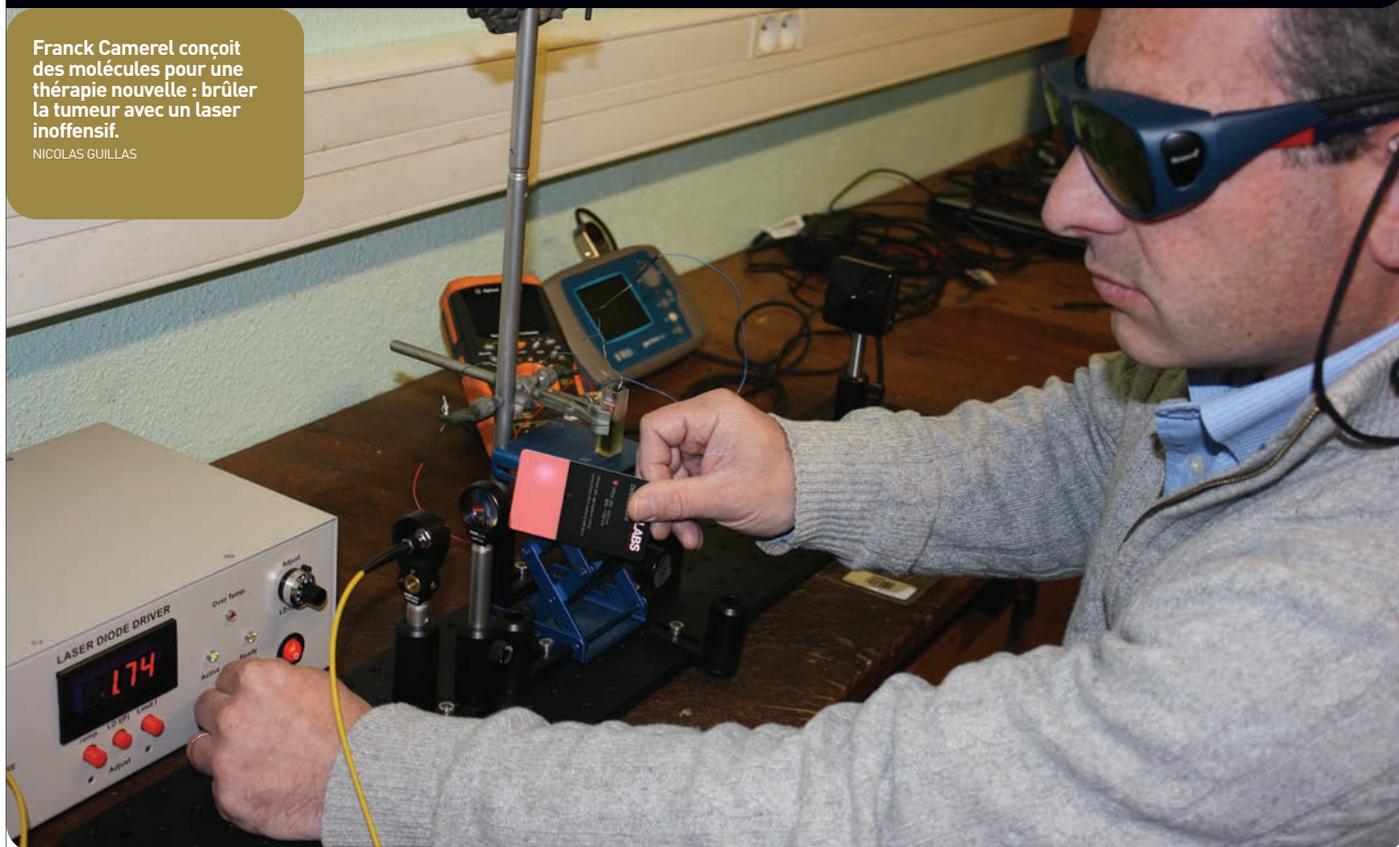
NICOLAS GUILLAS

LA CHALEUR QUI TUE LES CELLULES

DES CHIMISTES ET DES BIOLOGISTES **EXPLORENT UNE VOIE** POUR TUER LES CELLULES CANCÉREUSES : LA CHALEUR CIBLÉE.

Franck Camerel conçoit des molécules pour une thérapie nouvelle : brûler la tumeur avec un laser inoffensif.

NICOLAS GUILLAS



La thérapie photothermique est un nouveau moyen de lutte contre le cancer. Depuis trois ans, elle fait l'objet d'un engouement dans la recherche mondiale. L'idée consiste à synthétiser des molécules artificielles, qui tuent les cellules cancéreuses en dégageant de la chaleur au bon endroit. Franck Camerel, chargé de recherche CNRS dans l'équipe MaCSE⁽¹⁾, à l'Institut des sciences chimiques de Rennes⁽²⁾, participe à ces recherches. « *Nous cherchons des molécules capables d'absorber des rayons dans le proche infrarouge (entre 800 et 1 300 nm), et qui convertissent efficacement cette énergie en chaleur.* »

Des rayons peu absorbés par la peau

Cette conversion est le principe de l'effet photothermique. Éclairées par un laser, certaines molécules n'émettent pas de photon, mais produisent de la chaleur en se désactivant par vibration. La lumière doit se situer dans le proche infrarouge. C'est une "fenêtre thérapeutique" : les rayons lumineux, à ces fréquences, sont peu absorbés par la peau et le sang. La lumière du laser traverse alors les tissus, jusqu'à un ou deux centimètres. Les autres longueurs d'onde ne sont pas efficaces : les rayons UV (longueurs d'onde inférieures à 400 nm) sont très énergétiques et

abîment les cellules, quant au rayonnement visible (entre 400 et 700 nm), les tissus l'absorbent très peu.

Franck Camerel synthétise et modifie des molécules originales, appelées complexes "métal-bis (dithiolène)". Elles convertissent bien l'énergie lumineuse, avec un rendement maximal de 39 % : pour 100 photons reçus, 39 participent à la hausse de température. En outre, ces molécules sont stables : elles brûlent ce qu'il y a autour d'elles, mais ne se dégradent pas en chauffant. « *Nous rendons ces complexes solubles dans l'eau, ou nous les encapsulons dans des nanocapsules hydrosolubles, pour les introduire dans le corps humain* », détaille Franck Camerel. Quand la tumeur est éclairée au laser, la molécule brûle les cellules cancéreuses. « *Mais nous sommes loin de l'application clinique*, prévient le chercheur. *C'est de la recherche en amont.* »

Le chimiste a fabriqué plusieurs dizaines de molécules. Pour tester ces composés sur des cellules vivantes, il a fait appel à l'Institut de génétique et développement de Rennes (IGDR)⁽³⁾. La biologiste Yannick Arlot-Bonnemains, responsable d'une équipe qui étudie un gène responsable de la maladie de VHL⁽⁴⁾, a accepté la collaboration. Son équipe étudie de nouvelles thérapies pour traiter les cancers associés à la maladie de VHL. « *Nous avons*

cultivé différents types de cellules tumorales, en présence de ces composés, explique-t-elle. Nous avons d'abord étudié leur toxicité. Les cellules sont ensuite irradiées avec un rayon laser. La lumière provoque une augmentation de température des cellules qui ont intégré le composé. Nous regardons si elle est suffisante pour les tuer. »

Seulement 20 % des cellules survivent

Trois premiers complexes ont été testés en 2015 sur des cellules de rein. Résultat : « *Sous une irradiation bien spécifique, pendant 10 mn à une puissance de 5 watts par cm², par exemple, nous sommes capables d'induire la mort des cellules cancéreuses. Cette thérapie photothermique est innovante et très intéressante* », souligne Yannick Arlot-Bonnemains. « *En irradiant des cellules rénales, traitées avec les composés, seulement 20 % des cellules cancéreuses survivent* », précise Franck Camerel. Ces recherches ont fait l'objet d'un article dans un numéro spécial de la revue *Chemical Communications*.

« *Contrairement aux médicaments habituels, complète Yannick Arlot-Bonnemains, ces composés sont sans effet, lorsqu'il n'y a pas d'irradiation. L'avantage est aussi que l'on peut changer le cœur de ces composés (en nickel ou en or, par exemple) pour modifier la puissance*

et le temps d'exposition du laser, ou faire des paliers de température, en fonction de la cible tissulaire. » Ce type de thérapie devrait permettre de limiter les effets secondaires, contrairement à la chimiothérapie.

L'IGDR va maintenant réaliser des tests sur des lignées cellulaires d'autres cancers (sein, côlon, foie). Les biologistes veulent aussi tester les composés sur des cultures de cellules en "3D". « C'est une sphéroïde composée de centaines de milliers de cellules, explique Yannick Arlot-Bonnemains. Cette phase est très importante, pour évaluer la pénétration des

composés dans une masse de cellules, et estimer l'intensité du rayonnement laser nécessaire. » Viendront ensuite les expériences sur la souris.

Franck Camerel cherche également à réduire la toxicité des molécules. Il veut les rendre le plus biocompatibles possible, en les encapsulant dans des liposomes ou des polymersomes (lire Comprendre p. 12). Pour valoriser ces découvertes, une entreprise pourrait ensuite développer et exploiter des agents photothermiques biocompatibles. Pour traiter les tumeurs superficielles, ou même les

plus profondes : en amenant la lumière laser, via une fibre optique pilotée par endoscopie, à l'endroit où le tissu est atteint.

NG

^[1]UMR CNRS, Université de Rennes 1, ENSCR, Insa Rennes. ^[2]Matière condensée et systèmes électroactifs. ^[3]CNRS, Université de Rennes 1. ^[4]La maladie génétique rare de von Hippel-Lindau, qui touche une personne sur 36 000, peut entraîner la formation de tumeurs dans plusieurs organes.

CONTACTS

Franck Camerel, tél. 02 23 23 59 70,
franck.camerel@univ-rennes1.fr

Yannick Arlot-Bonnemains, tél. 02 23 23 46 96,
yannick.arlot@univ-rennes1.fr

COMBATTANTS DE L'IMMORTALITÉ

DES CHERCHEURS DE L'OUEST VEULENT REPROGRAMMER LA MORT CHEZ LES CELLULES CANCÉREUSES "IMMORTELLES".

Tout est question d'équilibre, même dans nos corps. Le nombre de cellules qui meurent doit être équivalent au nombre de cellules naissantes. Cette "homéostasie" est contrôlée par un phénomène complexe : l'apoptose, c'est-à-dire la mort cellulaire programmée. « L'apoptose est dérégulée dans beaucoup de formes de cancers, explique René Grée, directeur de recherche CNRS émérite à l'Institut des sciences chimiques de Rennes (ISCR)^[1]. Les cellules cancéreuses ne meurent plus et peuvent se disséminer dans l'organisme. »

Les antis et les pros

Des chimistes et des biologistes cherchent des molécules pour relancer l'apoptose. Une voie consiste à faire intervenir une famille^[2] de protéines, découvertes par les biologistes, qui déclenchent ou bloquent l'apoptose. Ces protéines se répartissent en deux sous-familles opposées : l'une est pro-apoptotique (elle déclenche l'apoptose), l'autre est anti-apoptotique (elle l'empêche). « Dans une cellule cancéreuse, il y a souvent plus d'anti-apoptotiques que de pro-apoptotiques, poursuit René Grée. Les molécules des deux

sous-familles se collent ensemble, l'une avec l'autre. Quand l'anti-apoptotique est collée à la molécule pro-apoptotique, cette dernière est bloquée. » La mort cellulaire n'est alors plus déclenchée : rien n'empêche la cellule tumorale de survivre... très longtemps. Le chimiste veut introduire une molécule de synthèse, qui interagit avec la protéine "anti", pour qu'elle se décroche de la "pro". Cette molécule pro-apoptotique rejoue alors son rôle : elle détruit la cellule tumorale.

À Rennes, Nantes et Caen

Cette approche s'inscrit dans une chaîne de recherche, qui inclut des chimistes, des biologistes et des médecins. Les molécules synthétisées naissent à Rennes, en collaboration avec des équipes au Liban et en Inde^[3]. Les tests biologiques sont réalisés à l'Inserm de Nantes^[4], pour la recherche sur le cancer du sein, et avec l'université de Caen^[5], pour le cancer de l'ovaire. Des tests ont également démarré à Rennes sur le mélanome. « Nous travaillons très en amont. La chimie médicinale explore des pistes, pour savoir si telle molécule originale synthétisée, souvent issue d'une molécule naturelle, agira ou pas. Les collègues bio-

logistes réalisent des tests, très exigeants, directement sur les cellules cancéreuses. Ils observent si l'apoptose est induite, ou non. » Après ces tests, les chimistes reviennent à la modélisation... puis à la synthèse de nouvelles molécules, modifiées à partir de ces résultats biologiques.

« Nous ne sommes pas des spécialistes "purs" du cancer, complète René Grée. Nous n'empiétons pas sur les compétences des médecins et des pharmacologues. Ils observent si un produit a de l'effet, mais il leur est très difficile de le modifier. Les chimistes sont complémentaires : ils essaient de trouver le bon produit et de l'améliorer. Avec de l'imagination, de la réflexion, de la modélisation et de l'analyse. »

Ligue contre le cancer

Depuis dix ans, ces recherches ont fait l'objet de conférences internationales et de treize articles scientifiques. Quatre articles sont en cours. Ces recherches sont soutenues par la Ligue contre le cancer, à hauteur de 20 000 euros par an. Une aide précieuse pour financer les synthèses, l'achat des produits chimiques, la purification, l'analyse... Cette aide est aussi la preuve de la qualité des recherches, menées à l'ISCR. Chaque projet qualifié est d'abord évalué par les experts de la LCC, qui en sélectionnent une vingtaine par an dans le grand Ouest.

NG

^[1]UMR CNRS 6226. www.scienceschimiques.univ-rennes1.fr. ^[2]Bcl-2. ^[3]Notamment dans le cadre du Laboratoire international associé (LIA) franco-indien "Produits naturels et Synthèse pour la Santé" (directeur Joël Boustie, coordinateur scientifique René Grée). ^[4]Au Centre de recherche en cancérologie et immunologie de Nantes - Angers. Avec Philippe Juin, équipe Survie cellulaire et échappement tumoral dans les cancers du sein, UMR 892 Inserm - 6299 CNRS. ^[5]Avec Laurent Poulain, équipe Biologie et thérapies innovantes des cancers localement agressifs, UMR 1199 Inserm - Université de Caen Normandie - Centre de lutte contre le cancer François Baclesse.

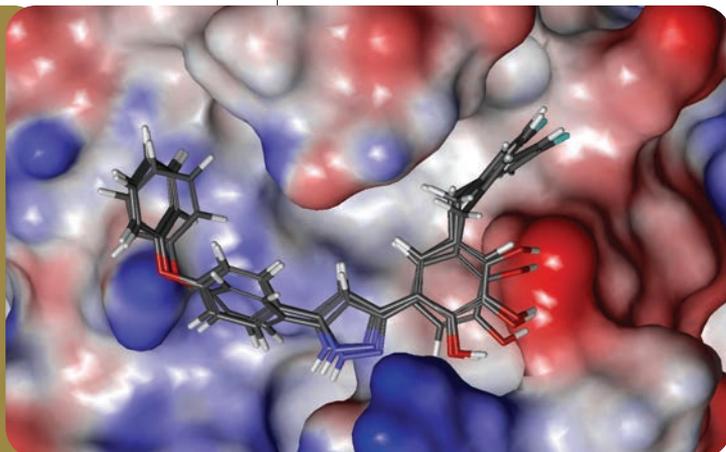
CONTACTS

René Grée, tél. 02 23 23 57 15,
rene.gree@univ-rennes1.fr

Joël Boustie, tél. 02 23 23 47 11,
joel.boustie@univ-rennes1.fr

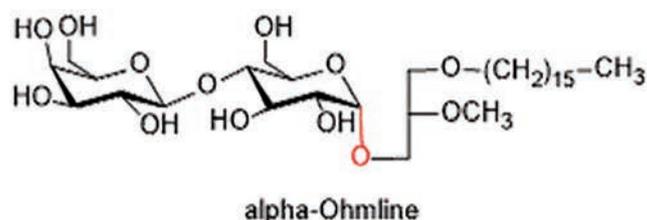
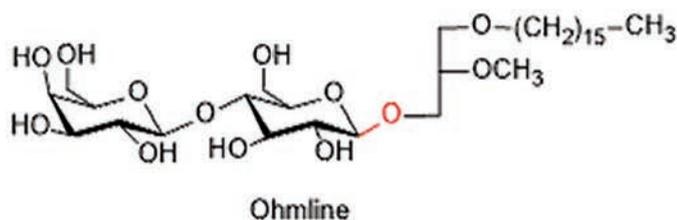
Les chimistes modélisent l'insertion de molécules (au centre) sur la protéine anti-apoptotique avant de les synthétiser. Les couleurs correspondent à des charges électrostatiques différentes.

NICOLAS LEVOIN/
BIOPROJET



INACTIVÉS MAIS PAS BOUCHÉS !

À BREST, DES CHIMISTES AGISSENT SUR LE DÉVELOPPEMENT DE MÉTASTASES **EN BLOQUANT DES CANAUX IONIQUES**, SANS LES BOUCHER.



La première solution qui vient à l'esprit quand on veut bloquer un canal (ou un tuyau) est de le boucher. Mais la nature est parfois plus complexe. Tel est le cas qui occupe une équipe de chimistes de l'UBO⁽¹⁾, à Brest⁽²⁾ depuis plusieurs années.

Les canaux en question se trouvent ancrés à l'intérieur des membranes de nombreuses cellules. Il s'agit de canaux ioniques qui, comme leur nom l'indique, contrôlent le passage des ions (chargés positivement ou négativement) créant, ou non, des différences de milieu (acidité, conductivité...) entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. Or, certains de ces canaux jouent un rôle essentiel dans le développement des métastases osseuses ou pulmonaires de certains cancers très invasifs (sein, prostate). « *Le mécanisme d'action d'Ohmline, la molécule inhibitrice que nous avons synthétisée, est original car elle s'insère à l'intérieur de la membrane et non directement dans le canal*, explique Paul-Alain Jaffrès, responsable de l'équipe. *En pénétrant dans la membrane, elle modifie ses propriétés biophysiques et donc la stabilité et l'activité des canaux ioniques alentour. Et le résultat est net : cela contribue à bloquer le développement des métastases.* »

Cette originalité a fait l'objet d'une publication en 2013⁽³⁾ et, depuis, Paul-Alain Jaffrès

L'orientation d'un groupe d'atomes vers le haut (Ohmline) ou vers le bas (alpha-Ohmline) suffit à changer les propriétés de la molécule⁽⁶⁾. Les chimistes arrivent à maîtriser ces paramètres.

DR

et ses collègues en ont appris un peu plus : la molécule est sélective ! Il existe en effet quatre canaux ioniques (qui laissent passer des ions potassium) qui se ressemblent (SK1, 2, 3 et 4) et Ohmline n'agit que sur SK3 et un peu sur SK1. Pourquoi ? Les chercheurs ne le savent pas encore.

Le jeu des différences

Pour comprendre plus finement le mécanisme d'action d'une molécule, la technique des chimistes consiste à fabriquer des analogues : ils partent de leur molécule d'origine (Ohmline) et en créent de nouvelles avec de petites différences : remplacement d'un atome par un autre ; changement de configuration d'un groupe d'atomes (voir schéma)... et regardent quelles incidences ont ces modifications. Pour l'instant, ils ont identifié un changement qui inactive complètement la molécule et un autre (trouvé par hasard) qui stimule l'activité des canaux ioniques. « *Activer les canaux n'est évidemment pas ce que nous cherchons pour stopper le développement des métastases, mais ce résultat est fondamentalement intéressant et se révé-*

lera peut-être utile dans un autre contexte, pour le traitement d'une autre pathologie. »

L'avis précieux des industriels

Ce mécanisme original et ces premiers résultats ont déjà permis aux chercheurs d'arriver en final du concours Matwin⁽⁴⁾ en 2015, dont le but est de mettre en contact les responsables scientifiques des grands groupes industriels pharmaceutiques avec des chercheurs des laboratoires académiques. « *Nous avons apprécié le fait d'avoir un retour sur la façon dont était perçue notre technique*, explique Paul-Alain Jaffrès. *Notre molécule a séduit par sa non-toxicité, par exemple. Mais elle n'agit que sur les métastases et pas sur la tumeur primaire...* » Les chimistes ouvrent des voies. Après, le chemin jusqu'au médicament est encore long !

NATHALIE BLANC

⁽¹⁾ Université de Bretagne Occidentale, laboratoire Cemca, UBO/UMR CNRS. ⁽²⁾ Dans le cadre d'un projet mené en collaboration au sein du Cancéropôle Grand Ouest avec l'équipe d'électrophysiologistes du Pr. C. Vandier de l'université de Tours (Inserm UMR 1069) et financé par la Ligue contre le cancer. ⁽³⁾ Lire Métastases : une voie de blocage dans *Sciences Ouest* n° 313 - octobre 2013. ⁽⁴⁾ Maturation & accelerating translation with industrials. ⁽⁵⁾ Berthe, W. ; Sevrain, C.M. ; Chantôme, A. ; Bouchet, A.M. ; Gueguinou, M. ; Fourbon, Y. ; Potier-Cartereau, M. ; Haelters, J.P. ; Couthon-Gounvès, H. ; Vandier, C. ; Jaffrès, P.A. *ChemMedChem*, 2016, 11, 1531-1539.

CONTACT

Paul-Alain Jaffrès, tél. 02 98 01 61 53,
Paul-Alain.Jaffrès@univ-brest.fr

sciences ouest POUR EN SAVOIR PLUS

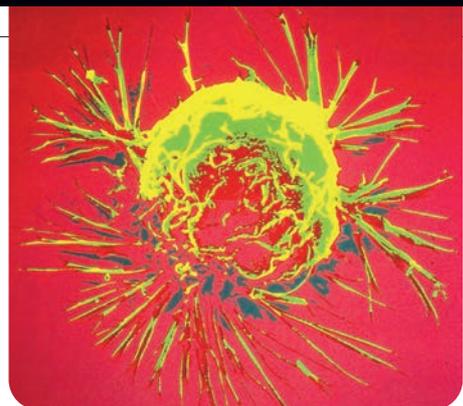
UN APPEL À PROJETS

BIOTECHS, CHIMIE ET SANTÉ

● La Région lance, ce jour, un appel à projets concernant les transferts de technologies dans les filières biotechnologies, santé et chimie pour favoriser les collaborations entre les entreprises et les laboratoires de recherche publique bretons. Soutenu par les centres techniques CBB Capbiotek et ID2Santé, cet appel à projets s'adresse aux PME bretonnes désireuses d'engager une collaboration avec un organisme de recherche publique également situé en Bretagne, en visant un transfert de technologies ou de connaissances entre ce laboratoire et l'entreprise en question, sur une durée de 12 à 18 mois. Le Conseil régional a doté cette initiative d'une enveloppe globale de 300 000 €, sachant qu'un projet ne pourra être accompagné au-delà de 50 000 € (plafond de 25 000 € maximum, et pour la PME, et pour le centre de recherche).

Date limite de dépôt des dossiers le 31 janvier 2017.

Rens. : CBB Capbiotek (chimie et biotech) : Nathalie Letaconnoux, nathalie.letaconnoux@cbb-capbiotek.com
ID2Santé (santé) : Hélène Le Pocher, helene.lepocher@id2sante.fr



NATIONAL CANCER INSTITUTE

PROCHAIN DOSSIER : HUMANITÉS NUMÉRIQUES

CONFÉRENCES

10 JANVIER 2017

La vie avant les dinosaures

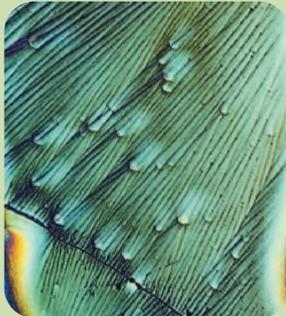


ALAIN BÉNETEAU/WWW.PALÉOSPOT.COM

● On parle souvent des dinosaures, mais que s'est-il passé avant ? Partez à la découverte de notre planète il y a 250 millions d'années avec Jean-Sébastien Steyer, paléontologue au Muséum national d'histoire naturelle. Explorez une flore et une faune fantastiques, composées de salamandres géantes, de grands reptiles herbivores ou à dents de sabre.

17 JANVIER 2017

Les matériaux bio-inspirés : de l'art du feu à la chimie douce



FOTOLIA

● L'observation de la nature nous montre que le vivant a su élaborer des nanomatériaux dont les performances dépassent souvent celles de nos technologies les plus modernes. Comment s'inspirer de la nature pour inventer de nouveaux matériaux ? Par Jacques Livage, chimiste au Collège de France et membre de l'Académie des sciences.

20 h 30, salle Hubert-Curien, Les Champs Libres, Rennes
Réservation possible au 02 23 40 66 00, 100 places disponibles sans réservation le soir même à partir de 20h - Entrée libre.

À SAINT-MALO

12 JANVIER 2017

Coup de pied dans le plat

● Que faut-il manger ? Faut-il d'ailleurs encore manger ? On peut se le demander en observant la cacophonie des recommandations, conduisant à des surconsommations déraisonnables de certains aliments et à l'éviction d'autres. Philippe Legrand, directeur du Laboratoire de biochimie - nutrition humaine (Inra, Agrocampus Ouest), fera le point sur les conseils vraiment "nutritionnels".



SHUTTERSTOCK

Conférence suivie d'une séance de dédicaces.

CAFÉ DES SCIENCES

5 JANVIER 2017

Les tiques attaquent

● Les tiques nous transmettent une bactérie qui provoque la maladie de Lyme (660 cas par an en Bretagne), via les petits mammifères. Apprenez-en plus sur le mode de transmission de cette maladie avec deux biologistes, Alain Butet (CNRS, Université de Rennes 1) et Grégoire Perez (ancien doctorant à l'Université de Rennes 1) et un infectiologue du CHU de Rennes, Pierre Tattevin.



TIPHAINIE COUSSE

18 h 30, Espace Magenta, Rennes - Entrée libre



SILVAIN LEFEBVRE

ANIMATIONS

DU T. REX À LA POULE

Comment définir un dinosaure ? Si tout le monde a une image précise des dinosaures, citer les critères pour les définir n'est finalement pas si simple. Qu'est-ce qui les distingue des crocodiles ou même du dimétrodon, animal préhistorique étonnamment plus proche des mammifères que des dinosaures et des lézards ? À l'aide de reconstitutions de squelettes et de figurines, établissez l'arbre "généalogique" (le terme scientifique est phylogénétique) des dinosaures et de leurs cousins. En jouant au jeu des ressemblances et des différences, découvrez les caractéristiques qui ont incité les paléontologues à placer Archéoptéryx et les oiseaux parmi les dinosaures, une parenté qui a révolutionné la représentation de nombreuses espèces. Une fois recouverts de plumes, le Vélociraptor et le T. Rex sont assez loin de leur représentation dans les films *Jurassic Park*. Et d'ailleurs, saviez-vous comment les plumes sont apparues ? Leur évolution est étroitement liée à celle des dinosaures...

Rens. : www.espace-sciences.org/expositions

LA MAGIE DU CINÉMA

L'animation "Les dessous du cinéma", dans le laboratoire de Merlin, révèle les effets spéciaux utilisés dans les films. Des effets vraiment magiques, puisque Georges Méliès, l'un des premiers à les utiliser au cinéma, était à l'origine... prestidigitateur ! De Charlie Chaplin aux derniers *Superman*, découvrez les astuces des films qui donnent l'illusion de la réalité. Vous pourrez revêtir une cape d'invisibilité, digne de celle d'Harry Potter, ou vous transformer en quelqu'un d'autre. Vous apprendrez aussi pourquoi le fameux fond vert est vert ainsi que ce qu'est un stop-motion et comment en réaliser un.

Rens. : www.espace-sciences.org/expositions



DR

Pour en savoir plus et s'abonner à nos lettres d'information : www.sciences-ouest.org, Twitter @sciences_ouest et Facebook

3 RAISONS D'ALLER VOIR

LA PLATE-FORME ÉCHOSCIENCES BRETAGNE

PAR CLAIRE VUILLERMOZ, CHEF DE PROJET
PÔLE BRETAGNE CULTURE SCIENTIFIQUE

1. Un réseau ouvert à tous. Curieux de sciences ou passeurs de culture scientifique, Échosciences Bretagne est votre espace d'échanges privilégié, un réseau social conçu pour publier, annoncer, devenir membre de communautés thématiques, discuter, s'informer à propos de la science en train de se faire.

2. Un agenda interactif. Échosciences est un vecteur d'information gratuit qui fonctionne sur un mode participatif. Tout événement peut être annoncé par son organisateur et sera géolocalisé sur la carte de la Bretagne, mis en avant via Twitter, potentiellement commenté et recommandé par les abonnés...

3. Un outil simple pour dynamiser les liens. Le territoire breton fourmille d'actualités dans les domaines scientifiques les plus variés. La vocation d'Échosciences ? Faciliter le partage des connaissances et générer des flux émanant de structures ou d'individus et à destination de différents publics et des jeunes en particulier. Bienvenue !

Échosciences est administré par l'Espace des sciences dans le cadre de l'animation du pôle régional Bretagne culture scientifique.

BRETAGNE

Tél. 02 23 40 67 89
contact@echosciences-bretagne.bzh
www.echosciences-bretagne.bzh

ET AUSSI... SORTIES ET EXPOSITIONS

IFFENDIC (35)
9 DÉCEMBRE
Ciel d'hiver

● Une immersion dans le monde de la nuit... Sur les hauteurs de la lande, la tête dans les étoiles, cheminez au rythme des contes et légendes sur les constellations.

De 20h30 à 22h30
Maison du Patrimoine
Gratuit sur inscription
Tél. 02 56 49 56 10
www.cpie-broceliande.fr

BELLE-ÎLE (56)
17 DÉCEMBRE
Sortie géologie

● À la découverte des phénomènes d'érosion, de leurs incidences sur la morphologie de Belle-Île.

10h
Maison de la Nature
Rdv parking des aiguilles de Port-Coton
Payant sur inscription
Tél. 02 97 31 40 15
www.belle-ile-nature.org

ST-GEORGES-DE-GRÉHAIGNE (35)
18 DÉCEMBRE
Les herbus du mont Saint-Michel

● Oies, passereaux, linicoles, rapaces... Observez les oiseaux qui viennent passer l'hiver dans la baie.

14h30
Parking en face du restaurant le "Rustique" (route de Pontorson/Saint-Malo)
Gratuit sur inscription
Tél. 02 99 27 21 13
https://ille-et-vilaine.lpo.fr

BREST (29)
21 ET 28 DÉCEMBRE
Tonnerre de Brest !

● Muni d'une torche, visitez les souterrains du château et ses collections, et découvrez l'origine de la fameuse expression du capitaine Haddock...

De 18h30 à 20h
Musée national de la Marine
Payant sur inscription
Tél. 02 98 37 75 51
www.musee-marine.fr

TRÉGASTEL (22)
JUSQU'AU 30 JUIN 2017
La coquille Saint-Jacques

● Cette exposition présente ce curieux animal et surtout son utilisation comme instrument d'investigation scientifique.

Aquarium marin
Tél. 02 96 23 48 58
www.aquarium-tregastel.com



BREST (29)
JUSQU'À LA FIN DU CHANTIER
Port de Brest...

● Nouveau port, nouvelles énergies : tout savoir sur le projet de développement du port de Brest, au fil du chantier qui démarre, c'est désormais possible !

Espace découverte du port de Brest
Gratuit
Tél. 02 98 33 41 41
http://portbrest.bretagne.bzh

LORIENT (56) VERS UN RENOUEAU DURABLE

12 DÉCEMBRE
Pêcheurs bretons en quête d'avenir

● Rencontre avec Alain Le Sann, président du collectif Pêche & Développement, et Yves Le Bahy, secrétaire de l'association Géographes de Bretagne, à l'occasion de la sortie de l'ouvrage collectif *Pêcheurs bretons en quête d'avenir* qu'ils ont coordonné.

18h30
Station Ifremer - Amphithéâtre
Gratuit
Tél. 02 97 84 87 37
www.maisondelamer.org

QUIMPER (29) SE CONCERTER POUR MIEUX AGIR

13 DÉCEMBRE
Érosion et submersion marine, s'adapter ou résister ?

● Deux tables rondes autour de la connaissance partagée de l'évolution du littoral, des risques et des enjeux, ainsi que des actions de sensibilisation et de concertation à mettre en œuvre.

De 13h30 à 17h30
Maison du Département
Gratuit sur inscription
Tél. 02 98 76 20 20
www.finistere.fr

RENNES (35) AVENIR SCIENTIFIQUE ?

DU 12 AU 14 JANVIER 2017
Salon du lycéen et de l'étudiant

● Grandes écoles, universités, classes préparatoires, écoles spécialisées... Profitez du salon pour rencontrer les acteurs incontournables des différentes filières de formation : stands et conférences.

Parc des expositions, Rennes-Aéroport
www.letudiant.fr



ECHOSCIENCES BRETAGNE

Partageons les savoirs et les innovations !

À NE PAS MANQUER

Guernesey

EXPOSITIONS

OCT 2 | [EN]VOL Expo photos

ARTICLE

L'océan, le climat et les hommes

EXPOSITIONS

OCT 1 | À cœur ouvert : l'histoire de la chirurgie cardiaque d'hier à aujourd'hui

CONFERENCES

DEC 13 | Les littoraux français et des Dom-Tom en 3D

ARTICLE

Big data

FILTRES : TOUS LES CONTENUS • ARTICLES • AGENDA • ANNONCES

sous la direction d'Alain LE SANN

PÊCHEURS BRETONS en quête d'avenir

Conférence départementale de l'environnement
mardi 13 décembre 2016 à 13h30

Erosion et submersion marines S'adapter ou résister ?

32 Boulevard Dupuis - QUIMPER - Entrée libre et gratuite

TOUT commence EN FINISTÈRE

l'Étudiant

rennes

WIRE IN INTELIGENCE

LE SALON DU LYCÉEN ET DE L'ÉTUDIANT

RÉUSSIR SES ÉTUDES ET SON ORIENTATION

12 | 13 | 14 JANVIER

RENNES PARC DES EXPOSITIONS RENNES-AÉROPORT

CONFÉRENCES ET RENCONTRES... ESPACE SPÉCIAL APB

ENTRÉE GRATUITE

webinaires, ateliers personnalisés, conférences, programmes... L'APPLI SALONS DE L'ÉTUDIANT à télécharger gratuitement sur Google Play

EU | L'Express | APB | RENNES-AÉROPORT

APPEL À PROJETS ● 11^e édition des trophées bretons du développement durable. Vous êtes une association, un établissement d'enseignement, un acteur public ou une entreprise ; votre projet répond aux quatre dimensions du développement durable : sociale, économique, environnementale, qualité démocratique. Alors candidatez jusqu'au 17 décembre sur www.tropheesdd.bzh. Rens. : tél. 02 99 85 87 06 (Claire Schio) ou 02 98 43 44 52.

L'ÉVÉNEMENT DU MOIS BON APPÉTIT !

Bien se nourrir est la préoccupation majeure de tous les citoyens. Mais mangeons-nous tous la même chose ? Sommes-nous égaux face à la quantité de nourriture dont nous disposons ? Trop salé, manger cinq fruits et légumes par jour... Comment s'y retrouver dans tous ces conseils diététiques et nutritionnels ? Grâce à des jeux individuels et collectifs, des multimédias et des films, enfants, adolescents et adultes trouveront des réponses pour mieux s'alimenter tout en gardant le plaisir de manger !

Au programme des animations : "Manger, bouger, digérer" sur la pyramide alimentaire, la digestion et la lecture des étiquettes d'emballage, "L'assiette insolente", "Atelier de dégustation".

LAVAL (53)

JUSQU'AU 5 MARS 2017

Musée des sciences
Tél. 02 43 49 47 81
www.ccsti-laval.org

ET AUSSI... COLLOQUES ET CONFÉRENCES

RENNES (35) 9 DÉCEMBRE

Rencontre "Innovation robotique et santé : assistance à la conduite de fauteuil roulant"

● Une journée d'échanges pluridisciplinaires pour les professionnels, organisée par l'association régionale Breizh PC.

Centre Inria Rennes
Payant sur inscription
Tél. 02 99 29 50 16
https://sites.google.com/site/innorobo

VANNES (56) 10 DÉCEMBRE

Lierres, sédums et sempervivums

● Nouvelle conférence organisée par la société d'horticulture du pays de Vannes, avec Patrick Nicolas, pépiniériste passionné.

14h 30
Palais des Arts
www.vannes-horticulture.asso.fr



VANNES (56) 13 DÉCEMBRE

Les littoraux français et des Dom-Tom en 3D

● Par Yves Pastol, hydrographe, qui dirige un programme visant à une représentation continue terre-mer de la frange littorale.

20h
Université Bretagne Sud, campus de Tohannic
Gratuit
Tél. 02 97 01 72 82
www.univ-ubs.fr/planete-conferences

PLOUZANÉ (29) 14 DÉCEMBRE

Ostréiculture et génétique : un mariage de raison ?

● Par Pierre Boudry, chercheur à l'Ifremer, unité de physiologie fonctionnelle des organismes marins, spécialiste de la génétique et génomique des bivalves exploités.

15h 30
Ifremer
Salle de conférences Lucien-Laubier
Gratuit
Tél. 02 98 22 40 07
www.ifremer.fr/brest

SAINT-BRIEUC (22) 14 JANVIER

Le bois

● Un groupe d'architectes et de passionnés costarmoricains organisent des "cafés de l'architecture" afin de promouvoir l'architecture locale et contemporaine.

13h 30
La Passerelle
Gratuit
Tél. 02 96 68 18 40
www.lapasserelle.info

PLOUFRAGAN (22) LAISSEZ-VOUS FASCINER !

JUSQU'AU 15 JANVIER 2017

Au fil des araignées

● Pour beaucoup, les araignées sont noires, velues et dangereuses. Faites valser ces idées reçues et venez découvrir leur monde surprenant. Colorées et souvent minuscules, mères attentives et ingénieurs hors pair, les araignées ont bien plus à nous apprendre et à nous apporter que nous ne l'imaginons.

Espace Sciences & Métiers
Tél. 02 96 94 43 99
www.esm22.fr

ESPACE SCIENCES & MÉTIERS

AU FIL DES ARAIGNÉES
EXPOSITION - 15 SEPT. 2016 > 15 JANV. 2017

ENTRÉE GRATUITE

- TOUT PUBLIC - Du Lundi au Vendredi - De 14h à 17h - Entrée libre
- ANIMATIONS et GROUPEES - Du Lundi au Vendredi - De 10h à 17h - Sur inscription

à L'ESPACE SCIENCES ET MÉTIERS - PLOUFRAGAN

Technopôle Saint-Brieuc Armor
4 rue Camille Guérin - 22440 Ploufragan
02 96 94 43 99 - www.esm22.fr

NANTES (44) FAMILIÈRES ET ÉTONNANTES

JUSQU'AU 27 FÉVRIER 2017

Mille milliards de fourmis

● Cette exposition s'attache à présenter leur système social et les comportements collectifs sur lesquels repose leur formidable essor ainsi que la morphologie et les diverses adaptations des 12 000 espèces de fourmis déjà connues à ce jour.

Musée d'histoire naturelle
Tél. 02 40 41 55 00
www.museum.nantes.fr

Nantes Métropole

MILLE MILLIARDS (DE FOURMIS)
EXPOSITION

du 8 MAR. à 27 FEV. au MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

www.museumnantes.fr

Le CCSTI de Laval présente

Bon appétit !



Dès 5 ans

Musée des sciences Laval
12 nov 16 / 5 mars 17

www.ccsti-laval.org



JEAN-YVES SAILLARD, 68 ANS

PROFESSEUR ÉMÉRITE EN CHIMIE THÉORIQUE À L'INSTITUT DES SCIENCES CHIMIQUES DE RENNES

Interviewé par Maryse Chabalier, quelques jours après avoir reçu le prix de la Fondation franco-taïwanaise à l'Académie des sciences, conjointement avec son collègue Chen-Wei Liu, de l'Université Dong Hwa de Taïwan, où il se rend régulièrement.

« *Le hasard n'est pas la tasse de thé des chimistes théoriciens.* »

1 Qu'auriez-vous fait si vous n'aviez pas été chercheur ?

Aucune idée, je n'en sais rien. J'aurais peut-être été prof, ce qui est presque pareil vu que j'ai été professeur à l'université.

2 Aujourd'hui, qu'avez-vous trouvé ?

Cette question me fait penser à De Gaulle qui aurait dit quelque chose comme « *Des chercheurs qui cherchent, on en trouve. Mais des chercheurs qui trouvent, on en cherche.* » Je contribue comme tous mes collègues à la progression des connaissances. On n'a pas forcément trouvé un truc qui va se transformer en brevet. Je fais de la chimie théorique appliquée. J'utilise les outils de la chimie quantique pour expliquer pourquoi les molécules qui existent, existent, et pourquoi elles ont les propriétés qu'elles ont. Je crée des liens entre des observations expérimentales *a priori* sans relations entre elles.

3 Le hasard vous a-t-il déjà aidé ?

Oui, parfois. Ça nous est arrivé de trouver fortuitement que des molécules que personne n'aurait *a priori* imaginées, étaient concevables. Des collègues les ont ensuite synthétisées. Certains de

ces composés avaient des applications dans le domaine de la catalyse ou de la photoluminescence. Mais de façon générale, le hasard n'est pas la tasse de thé des chimistes théoriciens, on cherche à comprendre comment fonctionne le monde de la chimie, ce qui laisse moins de place au hasard.

4 Qu'avez-vous perdu ?

Ma jeunesse.

5 Que vaudrait-il mieux ne pas trouver ?

On doit pouvoir tout trouver, il ne faut rien laisser dans l'ombre. C'est l'utilisation que l'on peut faire des connaissances qui peut avoir des effets néfastes, mais tous les domaines doivent être explorés.

6 Quelle est la découverte qui changerait votre vie ?

Celle d'une augmentation du budget pour la recherche, qui est devenu dérisoire.

7 Qu'est-ce qui vous ferait douter de la rationalité ?

Parfois ce que je ne comprends pas. Mais il s'agit alors plutôt d'un doute sur ma façon de raisonner.



sciences ouest

Toute la science en Bretagne. **sciences ouest** est rédigé et édité par l'Espace des sciences, Centre de culture scientifique technique et industrielle (association)
Espace des sciences, Les Champs Libres, 10, cours des Alliés, 35000 Rennes
nathalie.blanc@espace-sciences.org - www.espace-sciences.org - Tél. 02 23 40 66 66 - Fax 02 23 40 66 41

3€

Président de l'Espace des sciences : Jacques Lucas. Directeur de la publication : Michel Cabaret. Rédactrice en chef : Nathalie Blanc. Journalistes : Maryse Chabalier, Nicolas Guillas. Pigistes : Claire Vuillermoz. Comité de lecture : Louis Bertel (télécommunications), Gilbert Blanchard (biotechnologies-environnement), Jean-Claude Bodéré (géographie), Bernard Boudic (information et communication), Daniel Boujard (génétique-biologie), Michel Branchard (génétique-biologie), Leszek Brogowski (sciences humaines et sociales), Valérie Deborde (délégation CNRS Bretagne-Pays de la Loire), Alain Hillion (télécommunications), Christian Le Bart (sciences humaines et sociales), Boris Le Guennic (chimie), Gérard Maisse (agronomie), Dominique Petit (directrice de l'Espace des sciences/Maison de la mer Lorient), Nicolas Thély (sciences humaines et sociales), Paul Trehen (biologie-environnement), Béatrice Viale (transfert de technologies), Christian Willaime (physique-chimie-matériaux).

Abonnements : Loren Costiou, tél. 02 23 40 66 59, loren.costiou@espace-sciences.org. Publicité : Ouest Expansion - Vincent Denis, tél. 06 08 73 66 15.

sciences ouest est publié grâce au soutien de la Région Bretagne, des départements du Finistère et d'Ille-et-Vilaine. Édition : Espace des sciences. Réalisation : Pierrick Bertôt création graphique, 35510 Cesson-Sévigné. Impression : TPI, 35830 Betton. Tirage du n° 347 : 4 000 ex. Dépôt légal n° 650. ISSN 1623-7110.



Pour vos communications dans



sciences ouest

L'actualité scientifique en Bretagne

contactez :

Vincent Denis

06 08 73 66 15

vincent.denis@ouestexpansion.fr

Le prochain dossier :
Humanités numériques



10, rue de la Santé - 35000 RENNES
02 99 35 10 10

www.espace-sciences.org



EXPOSITION PERMANENTE
RENNES BRETAGNE



Les Champs Libres

Pour ne rien manquer de l'actualité scientifique bretonne !



Achat au numéro

Abonnez-vous en ligne sur www.espace-sciences.org rubrique SCIENCES OUEST

- Tarif normal : 2 ANS (22 numéros) **54 €** / 1 AN (11 numéros) **30 €** ■ Tarif étudiant : 2 ANS **27 €** / 1 AN **15 €**
- Tarif étranger ou abonnement de soutien : 2 ANS **76 €** / 1 AN **50 €** ■ Achat au numéro : **3 €**

Espace des sciences, Les Champs Libres, 10, cours des Alliés, 35000 Rennes - Tél. 02 23 40 66 40





EXPOSITION
ESPACE DES SCIENCES - RENNES

> du 27 septembre 2016 au 5 mars 2017



PLUMES DE DINOSAURE !