

UPVD RECHERCHE

Hors-série de l'Université de Perpignan # 6 Déc. 2015

DOSSIER : Le changement climatique

© P. KERHERVE - CEFREM - Spitzberg



ACTU :
Les plus vieux restes
humains à Tautavel

UNIVERSITÉ
PERPIGNAN
VIA
DOMITIA



Sommaire



ACTUALITÉ : Les plus vieux restes humains de France à Tautavel

page 4



DOSSIER : Le changement climatique

pages 8 à 37



LES UNITÉS DE RECHERCHE de l'UPVD

page 38



Edito

Le changement climatique

Les changements climatiques sont actuellement au centre de l'actualité et font l'objet de nombreuses rencontres scientifiques et activités de vulgarisation. Ils sont au centre des prochains débats de la Conférence des Nations Unies (COP 21) qui se déroulera à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015.

Notre université, tant au niveau de sa recherche que de ses formations, apporte un regard pluridisciplinaire sur ces changements, une analyse de leurs conséquences sur les organismes vivants et les sociétés. Et pour être pertinent, ce regard académique s'étend sur de vastes échelles de temps et d'espace.

Ce 6^{ème} numéro spécial recherche de l'UPVD en est la parfaite illustration en offrant à votre lecture une compilation d'articles vulgarisés thématiques rédigés à cet effet par l'ensemble de nos enseignants-chercheurs. Vous pourrez constater combien cette thématique transversale est partagée et identitaire au sein de notre communauté.

L'étude des pollens permet ainsi l'observation des changements climatiques subis depuis le paléolithique afin de mieux comprendre les occupations successives du territoire par la faune et l'homme. L'accélération actuelle de ces changements s'observe aussi sur de plus petites échelles de temps, en particulier sur les coraux ou le génome des plantes. On découvre également que l'homme déploie divers moyens pour s'adapter, tant au niveau de son habitat, que de l'usage qu'il fait de son énergie. Su-

jet d'ailleurs largement repris au cours des articles par diverses disciplines complémentaires. Certaines problématiques liées au changement climatique, comme les inondations ou l'évolution du littoral, ont déjà été développées à l'occasion des hors-série recherche précédents et ne sont donc pas repris ici. Nous invitons nos lecteurs à s'y reporter.

Nos travaux académiques de recherche portent ainsi clairement sur des sujets de société. Nos jeunes Docteurs, imprégnés de cette culture, s'emparent de nos innovations pour en assurer le transfert vers l'industrie. A titre d'exemple, l'article sur Eco-Tech Ceram démontre à nouveau la reconnaissance au plus haut niveau de notre recherche, puisque cette start-up de l'UPVD vient d'être lauréate du concours mondial de l'innovation (phase II) en septembre dernier.

Je ne saurais terminer cet éditorial sans vous inviter à rejoindre le MOOC consacré aux énergies renouvelables coordonné par l'UPVD et qui rassemble déjà plus de 8000 inscrits. Je vous invite également à visionner le tout nouveau film sur la recherche de l'UPVD, largement dédié au développement durable.

Vous souhaitant une très bonne lecture,

Pr Xavier Py
Vice-Président Recherche UPVD

Découverte des plus anciens restes humains de France

à la Caune de l'Arago de Tautavel dans un contexte glaciaire d'environ 550 000 ans

Le 23 juillet 2015, une nouvelle découverte de restes humains à la Caune de l'Arago a mis à l'honneur des niveaux environ 100 000 ans plus anciens que ceux renfermant le fameux crâne Arago 21.

Deux fouilleurs ont mis au jour l'incisive humaine Arago 149 (le cent quarante neuvième reste humain trouvé dans cette grotte) sur un niveau d'occupation extrêmement riche en faune et en matériel lithique, à proximité d'une phalange de cheval, d'un humérus de bison et d'un humérus de renne (Figure 1).

Ces informations de terrain induisent, en première approche, que cet Homme vivait sous un climat froid dans un paysage steppique ouvert.

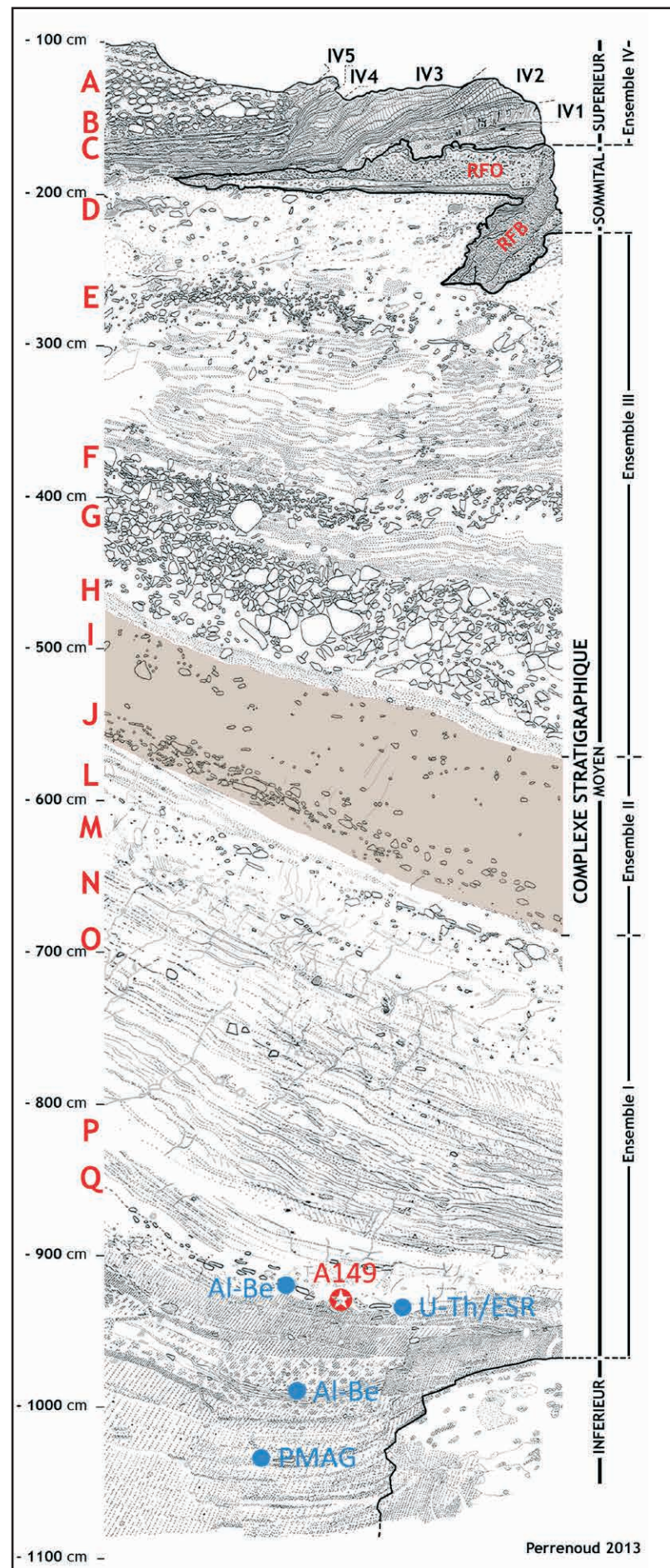


Figure 3. Log stratigraphique de la Caune de l'Arago.

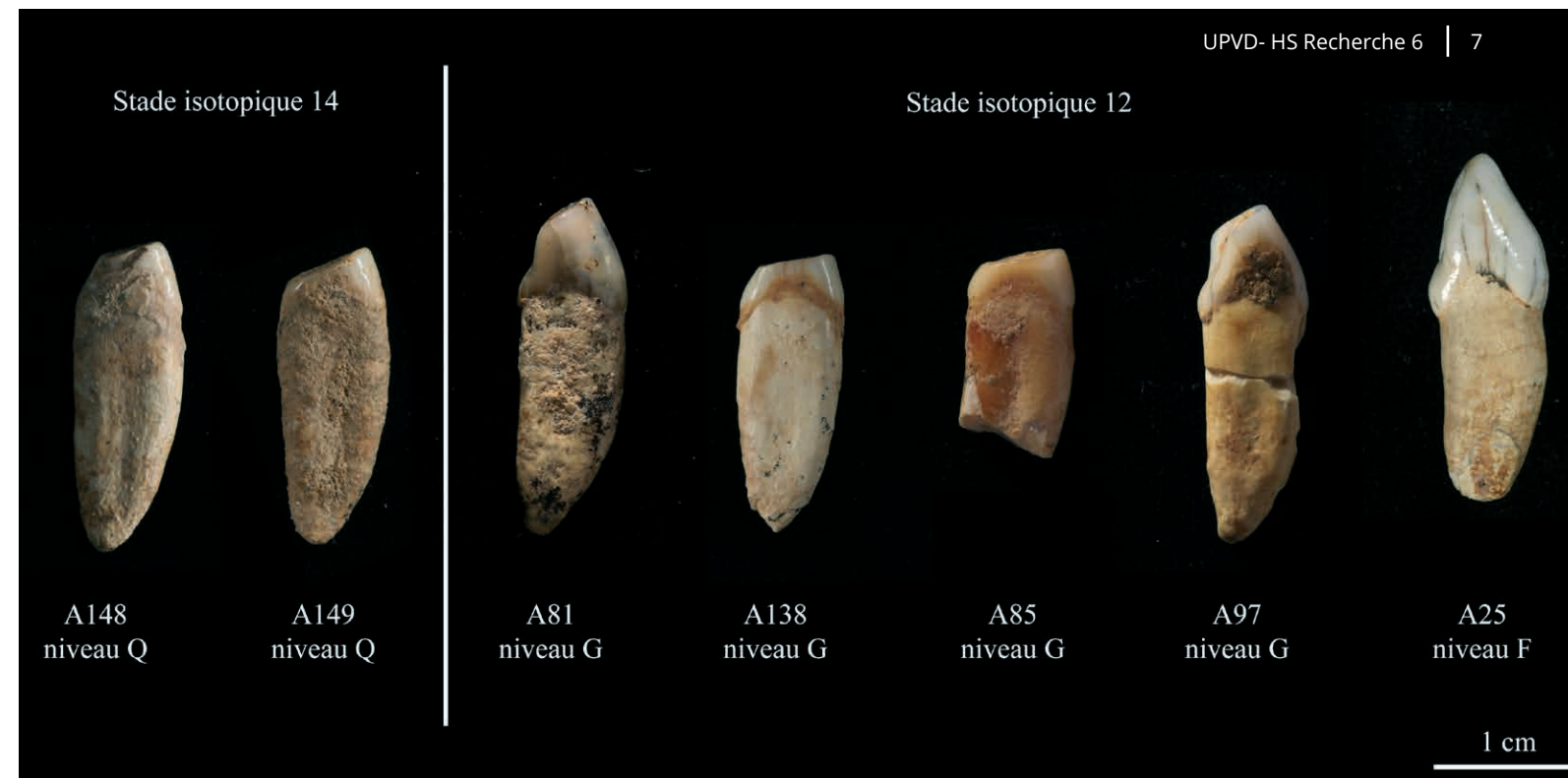
Les études précédentes ont montré que ces Hommes chasseurs ont laissé de nombreux éclats, des galets aménagés et de rares bifaces issus d'un approvisionnement en matières premières situé dans un rayon de 40 km, bien qu'une forte exploitation soit locale (e.g., quartz).

Bien que moins célébrée dans les médias, dans la même zone de fouille et au sein du même niveau stratigraphique, une autre dent humaine (Arago 148) a été trouvée l'an dernier à 30 cm de celle exhumée cette année.

Le premier constat anthropologique attribue ces dents permanentes à un adulte en raison du degré d'usure de la couronne dentaire (Figure 2). L'usure très légèrement différente entre les deux dents questionne sur l'attribution de ces deux incisives latérales inférieures, une gauche et une droite, à un même individu. Leurs dimensions ne se différencient pas de celles des dents 100 000 ans plus jeunes trouvées dans ce même site. Toutefois, les incisives inférieures, par leur simplicité anatomique, ne sont pas les dents les plus aptes pour discriminer les groupes humains. En conséquence, à ce stade de notre étude, elles ne révèlent pas d'informations susceptibles d'améliorer nos connaissances sur l'*H. heidelbergensis*.

La valeur de cette découverte repose davantage sur son contexte et notamment sur la connaissance de la position chronologique du niveau d'occupation renfermant les dents A148 et A149, et sur l'espoir qu'elles suscitent pour l'avenir des fouilles.

D'une manière générale, nous connaissons bien le contexte archéologique de cette nouvelle découverte (datation, faune, paléoenvironnement, outils lithiques, provenance des matières premières de l'industrie, mode d'exploitation des carcasses animales) ce qui est rare pour les restes humains de cette période.

Figure 2. Incisives inférieures latérales de la Caune de l'Arago.
© Photo : Denis Dainat-EPCC (Tautavel)

Les archives fossiles européennes font état d'un manque de données fiables entre 900 000 ans (Gran Dolina, Espagne) et 450 000 ans (Caune de l'Arago, France). Dans cet intervalle, le plus célèbre reste humain est la mandibule de Mauer (Allemagne) datée à environ 600 000 ans. Elle est l'holotype (i.e., forme de référence) de l'espèce *Homo heidelbergensis* et son plus vieux représentant. Toutefois, cette découverte du tout début du XX^{ème} siècle laisse quelques doutes sur sa localisation stratigraphique. Seul le site de Boxgrove en Angleterre est bien calé chronologiquement. Il a livré un tibia humain et deux dents humaines associés au stade isotopique 13 (env. 500 000 ans).

Par conséquent, tout nouveau reste humain dans cet intervalle chronologique est précieux et pourrait contribuer à améliorer nos connaissances sur l'origine de cette espèce. Les deux dernières dents découvertes à la Caune de l'Arago sont très probablement plus anciennes que les fossiles de Boxgrove. Elles ont été trouvées « en place » sur le niveau Q (Figure 3) non perturbé et corrélé

au début d'une période froide (glaciation). Ce niveau Q se situe à 3 m sous la base d'un ensemble sédimentaire d'un mètre d'épaisseur, corrélé à une période tempérée humide d'après les faunes et les grains de pollen retrouvés, lui-même situé sous 4 m de sédiments déposés en période glaciaire et qui ont livré les restes de « l'Homme de Tautavel ». Ce contexte stratigraphique et les datations effectuées antérieurement permettent de rattacher ce niveau Q au début de la glaciation du « stade isotopique 14 », calée chronologiquement entre 524 et 565 000 ans dans les carottages marins. L'âge du niveau Q, où ont été trouvées ces dents, est donc relativement proche de 550 000 ans.

La biochronologie est également compatible avec cet âge. Des datations physiques de dents et de quartz sédimentaires ont également été obtenues pour les niveaux Q antérieurement fouillés. Toutefois, si certains des âges sont proches de ceux déduits de la position stratigraphique (540 000 ans par la méthode Aluminium/Béryllium par exemple), certains autres s'en éloignent sensiblement et tous ont, quoi qu'il

en soit, un intervalle de confiance très important. Il reste donc à expliquer et préciser ces premières dates chiffrées.

Enfin, l'analyse du champ magnétique fossile des sédiments sous-jacents, fouillés il y a quelques années, a révélé la présence probable, à près d'un mètre sous le niveau des dents, d'une excursion magnétique qui pourrait être corrélée à Big Lost, datée de 570 000 ans. La poursuite des fouilles et des analyses permettra de préciser ces premières données.

HNHP

Tony Chevalier, Christian Perrenoud, Sophie Grégoire, Anne-Marie Moigne Nicolas Boulbes, Vincenzo Celiberti, Cédric Fontaneil Constance Hanquet, Anne-Sophie Lartigot-Campin, Loïc Lebreton, Henry de Lumley, Marie-Antoinette de Lumley, Véronique Pois, Agnès Testu, Amélie Vialet, Cyril Viallet.

tony.chevalier@univ-perp.fr
perrenoud@mnhn.fr

DOSSIER :

Le changement climatique

- 10** Effets de la fonte d'un glacier arctique sur un système côtier
- 12** Ecopoétique : écologie et littérature, vers une poét(h)ique de la nature
- 14** Changement climatique et risques alimentaires
- 16** L'énergie solaire, incontournable énergie du futur
- 18** Erode
- 20** Les effets du changement climatique sur la biodiversité et la résilience des récifs coralliens
- 22** Le pollen : témoin des changements paléoenvironnementaux et paléoclimatiques
- 24** Action et rétro action de l'océan vis-à-vis du changement climatique
- 26** Comment le changement climatique impacte-t-il la physiologie des coraux ?
- 28** Un nouveau mécanisme permettant aux plantes de contrecarrer les effets négatifs d'une augmentation de température
- 30** L'habitat bioclimatique dans le réchauffement climatique
- 32** L'implantation des champs de panneaux photovoltaïques dans les communes littorales
- 34** Amélioration de l'efficacité énergétique dans les territoires de l'Océan Indien
- 36** Eco-Tech Ceram (ETC) : des déchets industriels au secours de la transition énergétique

Effets de la fonte d'un glacier arctique sur un système côtier

Cas d'un fjord arctique (Kongsfjorden) de l'archipel de Svalbard (79°N, 12°E)

CEFREM - Philippe Kerhervé, kerherve@univ-perp.fr
avec D. Aubert, F. Bourrin, B. Charrière, C. Menniti, J. Sola
Programme ESCOFAR, financé par CNRS-EC2CO-DRILL+BIOHEFECT et l'IPEV



Vue aérienne de deux fronts glaciaires dans la partie terminale du fjord Kongsfjorden. On y voit les panaches turbides et colorés du matériel continental érodé par les glaciers et déversé par les rivières sous-glaciaires lors de la fonte estivale. (Photo © P. Kerhervé)

Le réchauffement climatique de la zone arctique (+2°C ces cinquante dernières années) entraîne des modifications significatives de son fonctionnement qui fragilise son écosystème. Ce réchauffement se manifeste sous de nombreuses formes qui interagissent souvent entre elles : augmentation des précipitations (+8%/100 ans), fonte du pergélisol, déclin de la couverture de neige et de glace (-15 à -20% de

banquise/30 ans), augmentation des débits des fleuves arctiques, augmentation du niveau des océans (+10 à +20 cm/100 ans) et développement d'une végétation de type toundra vers de plus hautes latitudes.

L'océan Arctique n'est pas épargné par les profondes mutations de son fonctionnement hydrologique et biogéochimique. Ces modifications ont pour

origine principale l'augmentation des apports continentaux, notamment à travers les cinq grands fleuves arctiques: Mackenzie, Yellowknife, Ob, Ienisseï, Lena. Chaque année, ils apportent 4.200 km³ d'eau douce et environ 200 millions de tonnes de sédiments. Cet apport d'eau douce par les fleuves arctiques semble en constante augmentation (+60 km³ par an) et tend à modifier la circulation océanique, la chimie des eaux arctiques et leur capacité à stocker du CO₂.

Outre ces grands fleuves arctiques, les apports d'eau douce et de sédiments par les glaciers arctiques semblent particulièrement importants. Des scientifiques ont ainsi estimé à 400 km³ le volume d'eau de fonte des glaciers déversé par le Groenland.

Ces glaciers, de par leur poids, la nature et la dureté du substrat géologique sur lesquels ils évoluent, érodent de grandes quantités de roches qui sont ensuite stockées en partie sous la forme de moraines frontales ou latérales. En été, les eaux de fonte glaciaire " lessivent " et entraînent en mer une quantité importante de matière en suspension, de nutriments et de car-

bone organique dissous et particulaire. Toutefois, peu de données concernent la quantité de matériel particulaire déchargée en mer par les glaciers arctiques, la caractérisation des particules associées et l'impact de ces apports continentaux sur la faune vivant dans les sédiments des fjords arctiques. Le programme de recherche ESCOFAR, piloté par le CEFREM, a pour objectif d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

L'archipel de Svalbard (Norvège, 77-80°N) avec l'île de Spitzberg et sa station internationale de recherche de Ny-Alesund offre un site d'étude privilégié pour ce type d'étude. En effet, les glaciers de Spitzberg qui recouvrent 60% de l'archipel sont particulièrement affectés par le réchauffement climatique. Le projet s'est focalisé sur le fjord "Kongsfjorden" qui fait face à la station de Ny-Alesund et s'étire sur 26 km de long. De nombreux glaciers viennent se déverser dans ces eaux, mais le plus grand d'entre eux (le Kronebreen) plonge directement dans les eaux du fjord le long d'un front glaciaire de plus de 2 km. Les premiers résultats de la campagne ESCOFAR-2014 ont montré que près de 750.000 tonnes

de roches concassées étaient entraînées dans le fjord par les eaux de fonte et que la quasi-totalité de ce matériel sédimentait dans le voisinage du front glaciaire, formant en quelques mois d'été une couche de vase de plus de 10 cm d'épaisseur. Cette campagne ESCOFAR a également mis en évidence une relation très nette entre la température de l'air et la quantité de matériel déversé par le glacier. Il est à noter que le réchauffement climatique est particulièrement visible dans ce fjord. Depuis une dizaine d'années, les eaux de surface du fjord ne gèlent plus l'hiver, perturbant ainsi toute la chaîne alimentaire du fjord. De plus, l'hiver 2014, malgré la nuit polaire et sa haute latitude (79°N, à 1200 km du pôle Nord géographique), a été marqué par des températures journalières positives au cours du mois de janvier. Malgré notre absence de recul, on peut donc légitimement imaginer que la fonte des glaciers et les apports de matériel terrigène ne feront qu'augmenter dans le futur, affectant des zones côtières de plus en plus étendues.

Cette boue continentale, faite de roches concassées et donc dépourvue de matériel organique facilement assimi-

lable, n'a pas d'intérêt avéré pour la faune benthique du fjord. De plus, ces apports, concentrés sur la période estivale, perturbent la mobilité des organismes benthiques et leur mode de nutrition. Seules quelques rares espèces dites " opportunistes " arrivent à survivre dans cet environnement hostile. L'Arctique est en pleine mutation et elle s'opère à grande vitesse. Nous sommes ainsi confrontés à un problème méthodologique : depuis 2012 notre station fixe " glacier " dans le fjord s'éloigne de plus en plus du front glaciaire du Kronebreen. Nous avons même du mal à mesurer la distance nous séparant de ce front. Ces zones de vèlage sont bien sûr interdites à la navigation et les cartes maritimes, trop anciennes, nous situent depuis des années sur le glacier. Même les images satellites (GoogleEarth) de 2009 sont inutilisables.

Rien que sur Svalbard, 2650 glaciers sont recensés dont la plupart, comme le Kronebreen, se déversent directement en mer. Leur action sur la courantologie marine et l'écosystème Arctique nécessitent encore de nombreuses études, mais il est fort probable que les conséquences de ces modifications ne s'arrêtent pas à l'Océan Arctique.



Station internationale de recherche de Ny-Alesund (île de Spitzberg, archipel de Svalbard, Norvège). Cette station est située au milieu du fjord Kongsfjorden. L'IPEV assure la logistique des projets français. Une dizaine de pays a une base logistique dans cette station gérée par les norvégiens. Les domaines scientifiques étudiés sont nombreux : océanologie, géologie, météorologie, glaciologie, écologie terrestre et marine, ornithologie. (Photo © P. Kerhervé)



© photo : B. Meillon

Ecopoétique : écologie et littérature, vers une poét(h)ique de la nature

CRESEM - Bénédicte Meillon, benedicte.meillon@univ-perp.fr

Face à la crise environnementale qui marque notre entrée dans l'anthropocène, la nécessité de passer d'une perspective anthropocentrique à une perspective biocentrique sur le monde est devenue incontestable. Or, la littérature ne jouerait-elle pas un rôle majeur par sa capacité à créer de l'empathie, d'une part, et, d'autre part, à déterritorialiser et reterritorialiser

les cartographies de l'imaginaire et les rapports de l'humain avec le monde qui l'entoure ?

Atelier de recherche en écocritique et écopoétique

Peut-on envisager la nature comme un texte (du latin *texere*, assembler, tisser), un réseau organique d'êtres vivants et

d'éléments interdépendants, reliés par une multitude de liens complexes ? Le cas échéant, comment ce texte se donne-t-il à lire ? Est-il possible de traduire ou recréer ce texte rhizomatique par le biais d'une syntaxe littéraire ? La littérature peut-elle rendre compte d'un langage naturel, animal, végétal ou même minéral ? S'il est vrai qu'il existe des cultures animales et des dialectes parlés par

certains animaux (tels que les cétacés ou les oiseaux) comment la littérature peut-elle s'en faire le relais ou entrer en dialogue avec eux ?

Au fil des mythes, des sciences ou des textes générés par l'humanité dans un effort d'appréhender la nature, celle-ci évolue en un palimpseste sur lequel chaque génération réinscrit sa vision du monde. S'il est vrai, comme l'affirme Mark Treddinick, qu'il existe une musique sauvage de la Terre, comment l'écouter et la retranscrire dans un langage humain ? Profondément transdisciplinaire, ce champ touche aussi bien à la philosophie, à l'éthique, à la civilisation, aux études littéraires et filmiques, qu'aux sciences naturelles, cognitives, économiques, à l'écologie, la zoologie, l'éthologie, les *cultural animal studies*, l'ethnographie et l'anthropologie.

"Dwellings of Enchantment: Writing and Reenchanting the Earth/Lieux d'enchantement: Ecrire et réenchanter le monde."

Le colloque international en écopoét(h)ique organisé au sein de CRESEM à Perpignan, du 22 au 25 juin 2016 vise à mettre en lumière comment la littérature et la critique littéraire à travers le monde peuvent contribuer à infléchir le langage et les politiques par lesquelles nous décidons de l'avenir de la planète qui nous accueille. Rassemblant des œuvres souvent étudiées à l'aune d'approches « écoféministe », « écocritique » ou « postcoloniale », cette manifestation cherche à révéler quelle vision des lieux, de la terre et de la vie qui la peuple donnent ces différents auteurs, et à établir comment, ensemble, ils permettent d'appréhender différemment notre être-au-monde.

Ce colloque vise à élucider s'il existe un genre ou une forme particulièrement apte à exprimer et explorer le rapport de l'humain au non-humain dans la nature. Selon Mark Treddinick, c'est l'es-sai lyrique qui s'y prête le mieux. Mais la nouvelle, la poésie, le roman, le théâtre

ou le cinéma ne permettent-ils pas également de se livrer à une ré-imagination écologique de la nature ? On interrogera la place et la fonction du cinéma et de la littérature de science-fiction au sein de la réflexion écocritique. Quelle



© photo : B. Meillon

place occupent par exemple les écocritiques telles que les dystopies de Margaret Atwood ou de Pierre-Yves Touzot dans cette réécriture de la nature ? Que signifie l'émergence d'un nouveau genre, littéraire et cinématographique, le « cli-fi », ou « climate fiction », qui met en scène divers scénarios d'avenirs possibles liés au réchauffement climatique ? Quelles sont à la fois l'impact et les qualités littéraires de ces œuvres ?

Une question fondamentale concerne la part d'espoir que véhicule cette littérature : dans un mouvement qui tend à ré-enchanter la nature et le quotidien, cette littérature n'a-t-elle pas une propension à s'écrire sur le

mode du réalisme magique, mode liminal par essence, qui, selon Wendy Faris, sert à (re)présenter des « enchantements ordinaires » ? Dans quelle mesure la littérature se nourrit-elle de la philosophie et des sciences, ou de la mythologie ? Peut-on dire, avec Mark Treddinick, que tous les écrivains de la nature sont des mystiques ? Quelles sont ces « expériences mystiques », « rencontres numineuses », « révélations inexplicables » que content leurs récits ?

On interrogera les apports de l'ethnologie, de l'anthropologie, de la phénoménologie ou de l'éco-psychologie. L'onirisme influe-t-il sur les façons dont la sensibilité au non-humain donne forme à l'écriture ? Comment le fait de « penser comme une montagne » (Aldo Leopold) ou « d'entendre comme une chauve-souris » (Linda Hogan) peut-il vibrer jusqu'à dicter l'écriture de la nature ?

Une sélection de communications lors du colloque et de notre atelier donnera lieu à la publication d'un volume aux Etats-Unis, dans la collection « Ecocritical Theory and Practice », par Rowman & Littlefield, et, nous l'espérons à un volume en français aux Editions Wildproject.



© photo : B. Meillon



Changement climatique et risques alimentaires

Un nouvel outil pour la détection de toxines dans le lait

BAE - Pr Thierry Noguer et Pr Lise Barhelmebs, noguer@univ-perp.fr

Le changement climatique est un phénomène irréfutable dont certaines conséquences font l'objet d'un consensus scientifique.

Parmi ses effets directs on peut citer par exemple la fonte des glaces, l'élévation du niveau des océans, l'amplification des phénomènes d'évaporation et de précipitation, augmentant la fréquence et l'intensité des sécheresses et des inondations, ainsi que le déplacement des aires de répartition des organismes vivants.

Un effet moins connu du changement climatique concerne la sécurité alimen-

taire, en particulier parce qu'il affecte des zones de production agricoles, mais aussi les conditions de stockage de certaines denrées [1]. Récemment, l'Unité Risques émergents de l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) a identifié le changement climatique comme un « *facteur de risques émergents en matière de sécurité des aliments destinés à la consommation humaine et animale sur le moyen et long terme* » [2].

Au centre des nombreux risques évoqués, des problèmes d'ordre microbiologique pourraient être rencontrés de manière de plus en plus fréquente au

cours des années à venir. En effet, la capacité des microorganismes (bactéries, virus, moisissures, parasites) à survivre et à se multiplier dépend fortement de leur environnement, et notamment de la température et de l'humidité ambiante.

Parmi ces microorganismes, certains champignons microscopiques qui se développent sur les plantes cultivées ou au cours du stockage peuvent s'avérer particulièrement dangereux pour la santé humaine, car ils produisent des substances hautement toxiques, appelées mycotoxines. Ces toxines peuvent être absorbées en consommant des

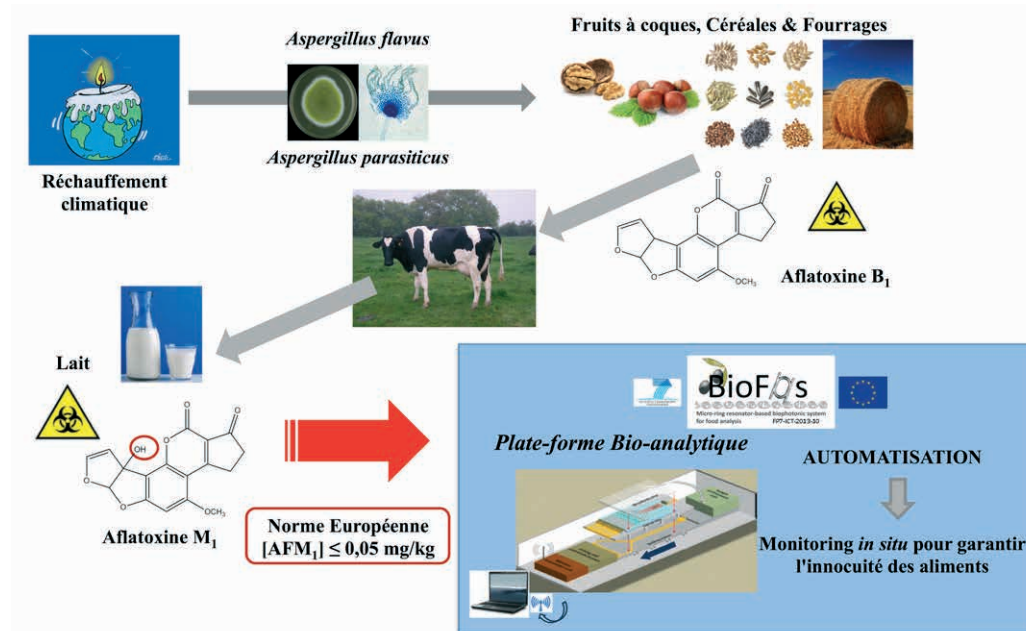
végétaux contaminés, ou par le biais de produits d'origine animale (viande ou lait) issus d'animaux nourris d'aliments contaminés.

Parmi les mycotoxines les plus redoutables figurent les aflatoxines, qui sont essentiellement produites par deux espèces d'*Aspergillus*, un champignon que l'on trouve surtout dans les régions chaudes et humides. Ainsi, l'aflatoxine B1 produite par *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus* est la toxine la plus fréquente dans les aliments, c'est aussi celle qui possède les propriétés génotoxiques et cancérogènes les plus puissantes [3]. L'aflatoxine M1, également cancérogène, est quant à elle issue de la transformation (métabolisation) de l'aflatoxine B1, elle est principalement trouvée dans le lait provenant d'animaux ayant été nourris avec des aliments contaminés par l'aflatoxine B1 [4]. Au niveau réglementaire, la Commission européenne a fixé par le biais de la directive n°1881/2006 la limite maximale d'aflatoxine M1 à 0,05 microgrammes par kilogramme de lait [5].

Dans ce contexte, et compte tenu des

forts enjeux sanitaires et économiques qui lui sont associés, l'industrie laitière est fortement demandeuse de méthodes de détection rapides permettant de contrôler les teneurs de ces toxines dans le lait en début de chaîne, et principalement au niveau des sites de production.

Afin de répondre à ce besoin, le projet Européen BIOFOS (<http://www.ict-biofos.eu/>), financé par le 7^{ème} Programme Cadre, propose de développer une plateforme biophotonique permettant la détection rapide et simultanée de contaminants dans diverses matrices alimentaires, et en particulier de l'aflatoxine M1 dans le lait. Dans le cadre de ce programme, l'équipe BAE est chargée de la sélection et du développement d'éléments de reconnaissance apportant sa spécificité à la plateforme. Ces éléments, appelés aptamères, sont des oligonucléotides d'ADN sélectionnés par une méthode itérative appelée SELEX. Spécialisée dans la recherche et le développement en matière de biocapteurs électrochimiques, l'équipe BAE vient ainsi de finir de caractériser un capteur à aptamères utilisable pour



Bibliographie :

1. Miraglia M, Marvin HJ, Kleter GA, et al. Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe. Food Chem. Toxicol. 47 (2009) 1009-1021.
2. Robinson T, Altieri A, Chiusolo A, et al. (2012). EFSA's approach to identifying emerging risks in food and feed: taking stock and looking forward. EFSA Journal 10(10): s1015.
3. International Agency for Research on Cancer. Monograph on the evaluation of carcinogenic risk to humans, Vol. 56, Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. World Health Organization, IARC Press, Lyon, France (1993), pp. 245-395.
4. Fallah A.A. Assessment of aflatoxin M1 contamination in pasteurized and UHT milk marketed in central part of Iran. Food Chem. Toxicol. 48 (2010) 988-991.
5. European Commission (a). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union, 364 (2006a) 5-24.
6. Istamboulié G, Paniel N, Zara L, Reguillo Granados L, Barhelmebs L, Noguer T. Development of an impedimetric aptasensor for the determination of aflatoxin M1 in milk. Talanta 146 (2016) 464-469.

L'énergie solaire, incontournable énergie du futur

PROMES - Gilles Flamant - DR CNRS - Directeur de PROMES
gilles.flamant@promes.cnrs.fr



Four solaire d'Odeillo - Photo © N. Bouillet

Avec la perspective de produire 27% de l'électricité mondiale et de contribuer à la réduction des émissions de CO₂ à hauteur de 6,5 Gt en 2050, l'énergie solaire tient une place privilégiée dans les scénarios « bas carbone » du futur. Dans ce contexte, PROMES développe des recherches à toutes les échelles, des nanomatériaux aux centrales solaires, en tentant de répondre à des questions fondamentales tout en développant des technologies innovantes. Ces recherches concernent tous les modes de conversion de l'énergie solaire : photovoltaïque (PV), thermique à basse température (TBT) et thermique (ou thermodynamique) à haute température par concentration (CSP ou STE). Les exemples suivants présentent quelques points forts des recherches actuelles du laboratoire.

Piéger le rayonnement solaire dans des nanostructures

Le photon est espiègle, il rebondit (est réfléchi), disparaît (est absorbé) et ressort masqué (est émis à une autre longueur d'onde). Dompter les photons est donc une tâche difficile mais indispensable car le bilan des photons réfléchis, absorbés et émis gouverne le rendement des systèmes de conversion de l'énergie solaire. Le laboratoire aborde cet objectif sous différents angles : mettre en œuvre des nanoparticules pour maîtriser le spectre lumineux d'absorption et d'émission de la lumière, réaliser des couches minces pour réduire la réflexion de surface et élaborer des assemblages de films minces pour piéger les photons dans le volume des matériaux. Ces nouveaux matériaux trouvent leurs applications aussi bien dans le domaine de la conversion thermique que photovoltaïque.

Rendre disponible l'énergie solaire à la demande

Notre capacité à proposer des solutions économiques pour le stockage de l'énergie solaire conditionne son développe-

ment à grande échelle. Il faut, en effet, pouvoir produire l'énergie quand l'utilisateur en a besoin. Trois grandes voies peuvent être imaginées, les voies thermique, chimique et électrochimique. Cette dernière méthode met en œuvre des batteries, PROMES ne mène pas de recherches dans ce domaine mais est actif dans les deux autres.

Le stockage thermique consiste, en phase de charge, à emmagasiner de la chaleur dans un matériau par accroissement de sa température et, en phase de décharge, de restituer l'énergie par refroidissement. Ces cycles peuvent être mis en œuvre à des niveaux de température différents (jusqu'à 1000°C). L'approche originale de PROMES consiste à utiliser des matériaux recyclés préalablement stabilisés comme matériaux de stockage. La jeune pousse « EcoTech Ceram » issue de ces recherches développe des « batteries thermiques » sur ce principe (cf article sur Ecotech Ceram p. 36-37). Les liaisons chimiques servent de « réservoir » de stockage dans le cas du stockage chimique. On peut alors envisager deux méthodes : réaliser des réactions renversables et produire des combustibles. Les réactions renversables sont des systèmes réactifs qui évoluent dans

un sens lorsqu'ils absorbent de l'énergie et dans le sens opposé lorsqu'ils libèrent de l'énergie, il s'agit donc de cycles de charge et décharge comme pour les systèmes précédents mais à température constante. Le laboratoire étudie des réactions gaz-solide qui présentent de telles propriétés. La production de combustibles de synthèse comme le dihydrogène permet de stocker l'énergie solaire à long terme mais également son transport si, en plus, cet hydrogène est converti en combustibles liquides. Cette conversion met en œuvre le gaz de synthèse (mélange dihydrogène et monoxyde de carbone, CO). Une belle manière de recycler le CO₂ puisque CO peut être produit par décomposition de CO₂ par énergie solaire. Dans ce contexte le laboratoire fait des recherches sur les cycles thermochimiques de décomposition de l'eau et du dioxyde de carbone à base d'oxydes complexes.

Développer les centrales solaires thermiques du futur

Les centrales solaires thermiques du futur auront un rendement global de plus de 25%, produiront de l'énergie 10 à 15 heures après le coucher du soleil et consommeront très peu d'eau.

Pour atteindre cet objectif, PROMES développe des recherches sur tous les composants de ces centrales : les systèmes de concentration, les récepteurs solaires à haute température et les fluides de transfert associés, le stockage thermique (voir paragraphe précédent) et les convertisseurs thermodynamiques. Les sciences de base comme les matériaux, la dynamique des fluides, la thermodynamique et la thermique sont mobilisées pour ces recherches mais également les grandes installations solaires du four solaire d'Odeillo et de Thémis afin de tester et valider les nouveaux concepts proposés à l'échelle pilote.

Mesurer, anticiper, contrôler

De l'échelle individuelle à l'échelle des réseaux de distribution, les consommateurs et les opérateurs désirent anticiper et contrôler soit pour réduire leur facture électrique soit pour rendre le meilleur service et sécuriser l'alimentation électrique. Pour atteindre ces objectifs il faut développer des outils prédictifs qui sont validés par des mesures. Le laboratoire développe de tels outils, par exemple, pour la gestion prédictive des centrales solaires, le pilotage des réseaux intelligents (« smart

grids ») et l'optimisation des marchés de l'électricité. Les réseaux sont des réseaux électriques ou de chaleur.

En conclusion, la conversion, le stockage et la gestion de l'énergie solaire sont au cœur des recherches de PROMES qui apporte ainsi sa contribution à l'émergence de solutions pour une société faiblement émettrice de CO₂.

Thémis - Photo © P. Egea



Personnel PROMES - Photo © P. Egea





Photographie 2 : La centrale photovoltaïque d'Ortaffa en Août 2013 - Photo © Juwi EnR, Novembre 2015

Erode

Energies renouvelables et système de développement territorial durable en Europe : une étude comparée de la territorialisation des politiques énergétiques et environnementales dans les zones rurales en France et en Allemagne.

ART-DEV - Guillaume Lacquement, Félix Authier
lacqueme@univ-perp.fr, felix.authier@univ-perp.fr

L'objectif du projet est de comparer les systèmes de développement territorial durable en milieu rural en France et en Allemagne afin d'analyser la contribution des initiatives locales dans le domaine des énergies renouvelables (EnR) au développement des territoires. Le concept de système territorial durable permet d'analyser

les dynamiques qui conduisent à l'accroissement des richesses et à l'amélioration des conditions de vie dans les territoires ruraux, « à partir d'une certaine latitude d'action des acteurs locaux et d'une meilleure utilisation des ressources du lieu »¹, tout en préservant les capacités de développement des générations futures. La pro-

duction d'énergies renouvelables est ici pensée comme partie prenante du développement et de la multifonctionnalité des zones rurales. La démarche comparative considère les enjeux de développement des territoires ruraux, et s'attache à expliquer les différences à l'échelle locale.

Les enquêtes de terrain (enquêtes qualitatives, observation participante, comparaison) menées jusqu'à présent ont permis d'identifier différents types d'organisation, de financement et de gouvernance des initiatives locales de production électrique à partir de ressources renouvelables. Trois groupes principaux ont été identifiés.

- Les projets *südliche Ortenau* dans la Forêt Noire et le Parc coopératif des énergies de Narbonne dans l'Aude (projet en cours) sont des exemples de coopération tripartite : acteurs privés, publics et associatifs. Le développement du premier projet a été réalisé par une coopérative énergétique² et par une entreprise privée, spécialisée dans le secteur des EnR (*Green City Energy*). Le rôle des communes a consisté à consulter la population locale au cours des étapes de la conception et à faciliter les démarches administratives de mise en œuvre du projet. La coopérative sensibilise et informe les populations locales sur le projet (construction et course de véhicules solaires avec les écoles, réunions publiques). Le parc a été financé par un consortium réunissant l'entreprise *Green City Energy*, les communes et les citoyens locaux (coopérative énergétique).

- Les projets des éoliennes de Gütenbach, portés par les sociétés civiles³ WiLi et WiRa (projet en cours) et de la coopérative d'énergie renouvelable de Perpignan sont le résultat d'initiatives collectives citoyennes. La conception et le financement sont alors fonction de la taille des projets. Lorsque le projet est de plusieurs Mégawatt⁴

(MW) la participation d'un prestataire de service à la conception et au financement est observable. Les éoliennes de Gütenbach (photographie 1) par exemple sont issues de plusieurs initiatives individuelles simultanées dans la commune. Ce sont les propriétaires des éoliennes qui ont pris en main la majorité des étapes du développement et de construction.

- Le parc « agri-solaire » d'Ortaffa (photographie 2) est à l'origine le résultat d'une initiative privée, puis de la coopération entre un acteur public et privé (développeur et porteur de projet). Le développement du projet a été financé par le porteur de projet. Ce projet a la particularité d'intégrer l'agriculture locale (pastoralisme et viticulture). La centrale solaire a été vendue à une entreprise d'investissement (123 Venture).

Les premiers résultats de la recherche montrent que la participation des populations locales au développement des projets permet de considérer les enjeux socio-culturels (paysages, proximité des habitations...), économiques

(agriculture, revenus locaux, tourisme) et environnementaux (protection de l'environnement) propre au territoire. Sur le plan économique, la production d'énergie renouvelable, lorsqu'elle est issue d'initiatives endogènes, peut participer à la diversification des activités dans les territoires ruraux. Elle peut être une source de revenus supplémentaires pour les populations locales et/ou participer à la création de réseaux d'acteurs territorialisés, facteurs de développement territorial.

Notes :

1- RIEUTORT L., (2011), « La géographie française et la question rurale » in GUIBERT M., JEAN Y., (dir), *Dynamiques des espaces ruraux dans le monde*, Paris, Armand Colin, 408 p. Mis en ligne le 18.01.2014, consulté le 17.10.2014.

2-Ettenheimer Bürgerenergiegenossenschaft traduit par coopérative d'énergie citoyenne d'Ettenheim. Son directeur est aussi engagé par Green City Energy en tant que développeur de projet.

3- En Allemagne, la Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR littéralement, société de droit civil) correspond à la société civile en France.

4- 1 Mégawatt = 10⁶ Watts



Photographie 1 : L'intégration de la production énergétique à l'activité agricole à Gütenbach à partir du début des années 2000
Photo © Authier Felix, mai 2015

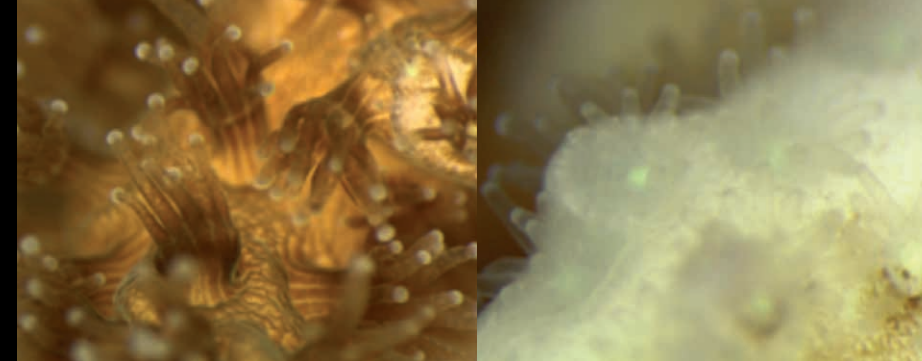
Les effets du changement climatique sur la biodiversité et la résilience des récifs coralliens

| CRIOBE - S. C. Mills, J. Claudet, L. Hedouin, D. Lecchini, suzanne.mills@univ-perp.fr

Le changement climatique, due aux émissions de CO₂, entraîne des modifications sur la fréquence des intempéries et l'augmentation des températures. Ce changement climatique peut provoquer aussi des réponses adaptatives des organismes allant de déplacements vers les pôles, d'adaptations génétiques, ou d'ajustements via des changements plastiques dans leur physiologie ou leur morphologie. Un tiers du CO₂ atmosphérique est dissous dans les océans (acidification de l'océan) qui réduit la croissance squelettique calcifiée des coraux, des mollusques et autres organismes marins.

Les récifs coralliens sont d'une importance capitale pour la survie des populations humaines, fournissant nourriture et protection côtière pour la majorité des îles tropicales. Ils contribuent comme source de revenus, mais ils sont menacés. La perte de la biodiversité due au changement climatique peut décroître la résilience et rendre les écosystèmes plus enclins à des changements de phase. En 2011, Suzanne Mills a coordonné un programme ANR jeunes chercheurs pour comprendre les processus de résilience aux changements environnementaux.

Le développement embryonnaire d'un opisthobranché a été comparé à Moorea dans des conditions de changement climatique. L'augmentation de



Pocillopora damicornis est un corail dit « couvreur de larves ». Sur la gauche, une colonie adulte avec les densités de zooxanthelles normale, et sur le droit une colonie blanchie. © Photo : Laetitia Hedouin.

température accélère le développement embryonnaire et l'acidification le ralentit, mais le succès d'éclosion est réduit. L'effet synergétique des deux stress est ainsi accru pour le succès d'éclosion et la coquille montre des déformations morphologiques. Nous étudions s'ils peuvent s'acclimater au cours de plusieurs générations.

En 2015, des températures anormalement élevées ont été observées à Moorea et des colonies adultes de coraux ont présenté des densités en zooxanthelles différentielles, caractéristiques du blanchissement. Les larves issues de colonies adultes ayant blanchies étaient plus petites, présentaient des vitesses de nage plus faibles et présentaient des difficultés à détecter les algues corallines encroûtantes (algues favorisant le recrutement des larves). Les larves émises par les colonies pâles auront moins de chance de pouvoir trouver le substrat le plus adéquat à leur métamorphose, ce qui peut augmenter la mortalité dans la phase de post-recrutement.

Une autre étude menée à Okinawa (Japon) a montré que les larves de certains poissons et de crustacés reconnaissent leurs conspécifiques à plus de 70%. Par contre, en milieu acidifié, cette reconnaissance chimique diminue à 46-48%. L'acidification des océans peut donc diminuer le succès des larves à l'installation.

La réponse hormonale de stress, le cortisol, d'un poisson clown a été comparée entre des populations des îles Eparses. Les populations soumises aux températures des eaux marines de surface les plus élevées historiquement ont démontré une plus grande sécrétion de cortisol : un stress thermique provoque

une modification permanente dans leur physiologie. Les données d'archives des températures depuis 1985 montrent que les stress thermiques agissent tous les 2-6 ans : plusieurs stress thermiques peuvent donc survenir au cours de la vie des poissons. Par conséquent, ces modifications physiologiques permanentes peuvent être adaptatives. Nos résultats renforcent donc le potentiel d'adaptation des poissons récifaux au changement climatique.

Une compréhension de la résilience de l'écosystème face aux perturbations ne peut être étudiée qu'une fois une perturbation produite. Nous avons pu décrire les changements des assemblages de poissons sur les récifs de Tiahura (Moorea) de 1979 à 2015, grâce à un réseau de suivi mis en place au CRIOBE. Au cours de 36 ans, Tiahura a été exposé à de multiples perturbations environnementales dont la fréquence et l'intensité augmentaient avec le changement climatique (explosion des étoiles de mer prédatrices du corail et cyclones) qui ont provoqué des baisses récurrentes du corail vivant.

Ces changements ont été associés à des effets en cascade sur les peuplements de poissons. La composition et la structure trophique des assemblages se transformaient en continu sans jamais retourner à leur composition

initiale, tandis que la richesse des espèces est restée stable. Notre étude souligne que la contingence historique peut potentiellement être un facteur important, mais pourtant sous-estimé, expliquant la structure contemporaine des assemblages de poissons de récif.

Nos résultats sont contrastés : les mollusques ne montrent aucune plasticité au changement global au cours du développement embryonnaire. En revanche, les capacités des larves de coraux, de poissons et de crustacés de trouver un habitat optimal pour leur recrutement sont réduites. Les poissons récifaux présentent un fort potentiel d'adaptation par des ajustements de leur physiologie. L'analyse de séries à long terme montre que les poissons s'adaptent relativement bien aux changements avec un transfert de biomasse vers les groupes fonctionnels clé permettant de prévenir des changements de phase. La gestion des écosystèmes coralliens ne doit donc pas se focaliser sur le maintien d'une stabilité des assemblages mais entretenir de préférence des réservoirs de groupes fonctionnels variés. Face aux changements climatiques, l'avenir des organismes coralliens est menacé et il est important d'entreprendre des actions au niveau global et local pour protéger la biodiversité à travers le monde.

Le poisson clown mouffette, *Amphiprion akallopisos*, est présent dans l'Indo-Pacifique ouest



Stylocheilus striatus, opisthobranché (Mollusque sans coquille à l'âge adulte) qui joue un rôle important dans l'écosystème étant le seul herbivore qui se nourrit d'une cyanobactérie toxique. (Photo © F. Michenet)

Le pollen : témoin des changements paléoenvironnementaux et paléoclimatiques

HNHP- Anne-Sophie Lartigot-Campin - Tautavel - aslc@cerptautavel.com

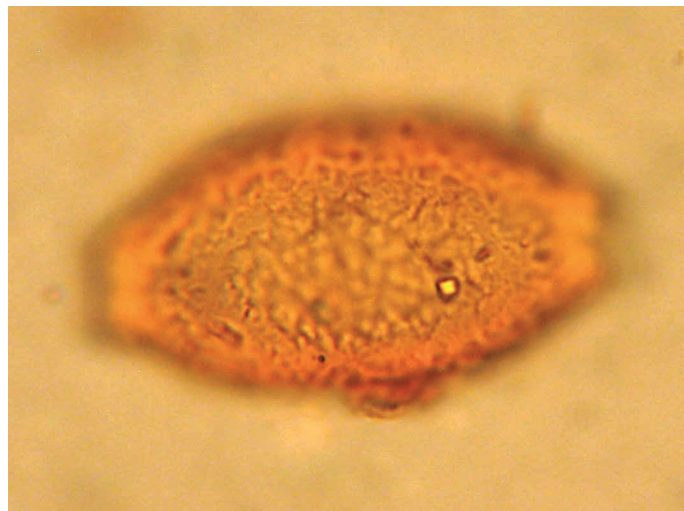


Figure 1 : Œuf de Capillaria - Baume Bonne (© AS Lartigot-Campin)

En Préhistoire, l'influence de l'environnement et des variations climatiques sur l'évolution et le comportement des Hommes fossiles reste au cœur des préoccupations. Afin d'y répondre, de nombreuses reconstitutions paléoenvironnementales ont été menées, grâce aux analyses polliniques, sur des séquences continentales ainsi que

sur des sites archéologiques de plein air et en contexte karstique. En grotte, ces études sont menées tant sur des sédiments meubles (argiles, par ex) que sur la calcite (stalagmites, draperies, etc), en contexte interdisciplinaire (anthropologie, paléontologie, géochronologie, etc). Les travaux de l'équipe pluridisciplinaire d'HNHP, dont une partie est basée au laboratoire de Tautavel, ont permis de montrer que l'Homme est présent dans la Vallée de Tautavel depuis au moins 700 000 ans. Il y a 550 000 ou 440 000 ans, l'Homme y chassait le renne ou le mouflon, dans une vallée couverte d'une steppe à graminées, sous un climat extrêmement froid. Au

contraire, il y a 500 000 ans, les environs de la grotte étaient recouverts par une vaste forêt tempérée, où s'ébattaient les cerfs élaphe et les daims, sous un climat chaud et humide. La Palynologie montre qu'une rivière, le Verdoube, coulait en permanence dans la vallée et, fait remarquable, que les essences méditerranéennes se maintenaient, même dans les périodes les plus froides.



Figure 3 : Pollen fossile de Pin- Caune de l'Arago (© AS Lartigot-Campin)



Figure 4 : Pollen fossile de Centauree -Caune de l'Arago (© AS Lartigot-Campin)

Au cours d'une analyse pollinique, il n'est pas rare de rencontrer des restes végétaux (Figure 1) et œufs de vers endoparasites microscopiques. Ces œufs sont une source importante d'informations et peuvent être découverts dans différents supports.

■ Dans les coprolithes (excréments fossiles), la palynologie révèle l'image de l'environnement visité par l'animal dans les 24 à 36 heures précédant l'émission des fèces, alors que la parasitologie désigne la nature de l'animal émetteur. A Champ-Durand (Vendée), des coprolithes datés de 3000 ans B.C. ont révélé une grande quantité d'œufs de Trichuris vulpis, indiquant une parasitose d'un chien ou d'un renard. La présence conjointe de 2 œufs de Douve du foie montre qu'ils ont été ingérés et pouvaient provenir des entrailles d'un mouton, élevé puis dépecé par ces Vendéens et que le petit carnivore aurait mangées (Lartigot, 2012). Une analyse palynologique et parasitologique de plusieurs dizaines de coprolithes est actuellement menée, dans le cadre d'un PCR « Le Monde moustérien en Languedoc-Roussillon ».

■ Dans un niveau argileux de la grotte-abri de la Baume Bonne (Alpes de Haute Provence), une grande quantité de pollens d'Asteraceae et de spores de fougères, accompagnés de spores de champignons saprophytes et d'œufs de Capillaria sp. (Figure 2) et Trichuris sp. montre la présence d'un sol de bergerie, avec un apport en fourrage, une litière en décomposition et des herbivores parasités (Lartigot-Campin, 2014).

■ Dans des coulées calcitiques de la Caune de l'Arago (Pyrénées-Orientales), datées entre 350 000 et 104 000 ans B.P. (Falguères et al., 2004), des œufs de Trichuris sp. et d'Ascaris sp. indiquent que le cortège pollinique fossile, très bien

conservé (Figures 3 et 4), a surtout été transporté par l'eau et provenait principalement du plateau et des falaises des environs, plutôt que de la vallée et des reliefs lointains (Lartigot-Campin, 2014). Ce type d'analyses se poursuit actuellement dans des niveaux de calcite plus anciens de la Caune de l'Arago.

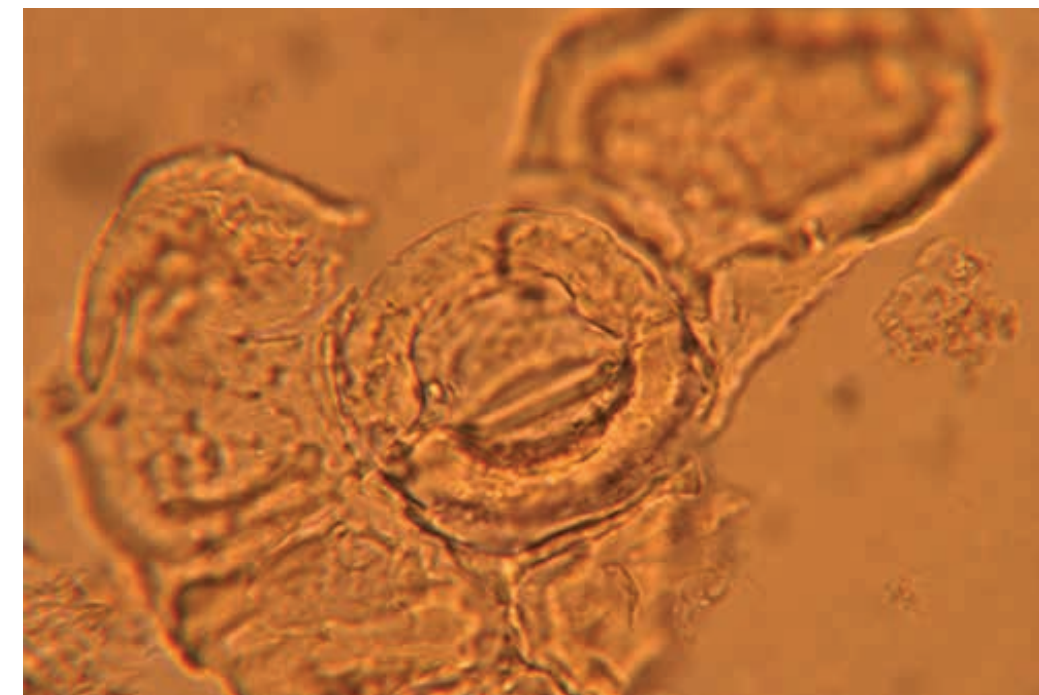
L'équipe interdisciplinaire d'HNHP travaillant sur de nombreux sites archéologiques à travers le monde s'est tournée vers une approche taphonomique, pour appréhender les facteurs d'accumulation des fossiles dans le site, ainsi que les processus affectant positivement ou négativement leur conservation dans les sédiments. Les résultats obtenus permettent de connaître l'histoire évolutive des sites dans leur globalité.

Références :

Falguères C., Yokoyama Y., Shen G.J., Bischoff J.L., Ku T.L., Lumley (de) H. (2004). - New U-series dates at the Caune de l'Arago, France. Journal of Archeological Science, 31, pp. 941-952.

Lartigot-Campin A.-S. (2012). - Analyses palynologiques et parasitologiques de trois coprolithes du site de Champ-Durand (Vendée) in : L'enceinte néolithique de Champ-Durand à Nieul-sur-l'Autise (Vendée). (Dir. R. Joussaume), pp 621 – 642, 19

Figure 2 : fragment végétal (avec stomate)- Caune de l'Arago (© AS Lartigot-Campin)



Action et rétro-réaction de l'océan vis-à-vis du changement climatique

IMAGES- Espace-Dev - Pr Catherine GOYET, goyet@univ-perp.fr



Le réchauffement climatique est aujourd'hui une réalité incontestée, et malgré les multiples conférences internationales sur le climat, les émissions de gaz à effet de serre comme le gaz carbonique (CO_2), continuent de croître chaque année. La surface des océans représentant environ 71% de notre planète, on ne peut que signaler

l'importance des échanges de gaz (CO_2) à travers l'interface océan-atmosphère. Les océans ont déjà absorbé près d'un tiers des émissions de carbone anthropique (émis par l'Homme depuis le début de l'ère industrielle). De ce fait, la principale conséquence positive est une réduction de l'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère par rapport à

nos émissions anthropiques, ce qui ralentit un peu le réchauffement climatique. Mais cela entraîne aussi des conséquences négatives.

1- Le réchauffement climatique provoque la fonte des glaces et la dilatation thermique de l'eau de mer ce qui induit une mon-

tée du niveau de la mer avec toutes ses conséquences d'inondations des zones côtières, et un ralentissement de la circulation océanique thermo-haline (due aux variations de température et de salinité de l'eau de mer), qui propagerait donc au niveau global un petit déséquilibre local.

2- Le CO_2 atmosphérique, réagit avec l'eau pour former l'acide carbonique et acidifie l'océan (mesuré par le pH ; potentiel Hydrogène).

L'acidification des océans est donc une conséquence directe de l'augmentation des concentrations du CO_2 dans l'atmosphère. Or, de nombreux organismes marins sont affectés par cette variation d'acidité. En particulier, tous les coraux et les mollusques qui sont ainsi privés d'ions carbonates et par conséquent ont de plus en plus de mal à construire leurs squelettes et leurs coquilles. Sachant que les récifs coralliens sont des réservoirs essentiels de biodiversité, c'est toute la vie marine (avec toute ses conséquences sur la pêche et une par-

tie de notre alimentation), qui est touchée. Les conséquences sont déjà mesurables un peu partout près des côtes. Les jeunes huîtres ont de plus en plus de mal à survivre. Ce qui pourrait menacer plusieurs milliers d'emplois dans les zones côtières.

Un des derniers rapport des Nations Unies (2014), estime que les revenus liés aux activités maritimes (tourisme, pêche, etc.) seront fortement diminués (jusqu'à 3000 milliards de dollars par an d'ici à 2100), à cause de l'acidification des océans. Par conséquent plusieurs pays (USA, Brésil, etc.), ont créé des programmes de recherche et de suivi dédiés à l'acidification des océans. Les observations indiquent qu'entre le début de l'ère industrielle et aujourd'hui, l'acidité des eaux de surface a augmenté de plus de 25% (le pH a diminué de 8,2 à 8,1). De plus, ces mesures indiquent qu'en moyenne l'acidité de l'océan augmente d'environ 5% par décennie. Cette augmentation suit l'augmentation vertigineuse (presque exponentielle) des émissions de CO_2

(liées à la pollution industrielle, déforestation, agriculture intensive, etc.), dans l'atmosphère.

Etant donné que la solubilité du gaz carbonique dans l'eau de mer dépend très fortement de la température, l'acidité augmente bien plus dans les eaux froides que dans les eaux chaudes. Par conséquent, les océans arctique et antarctique, ainsi que l'océan pacifique nord (près de l'Alaska), sont particulièrement vulnérables.

Globalement, il y a beaucoup plus de carbone anthropique dans les eaux de surface et sub-surface qu'en profondeur. Près de 60% du carbone anthropique est absorbé par l'eau de surface de la large superficie des océans de l'hémisphère sud. Néanmoins, les zones de formation d'eaux profondes vont entraîner une grande quantité de carbone anthropique de la surface jusqu'au fond, comme l'océan atlantique nord qui en absorbe environ 23%.

Cependant, il reste encore beaucoup de

régions océaniques, soit difficiles d'accès (océans Arctique et Antarctique), soit des zones côtières où l'Homme exerce une très forte pression : aménagement du littoral, prélèvement massif de sable, chalutage, pêche intensive, aquaculture, tourisme, pollution en tous genres (déchets chimiques et plastiques, pollution sonore), etc. où les mesures restent très éparpillées et où les incertitudes sont grandes.

Actuellement l'Homme fait de plus en plus face à des événements climatiques (tremblements de terre, tornade, ouragans, éruptions volcaniques, inondations, sécheresse, etc.). Pour survivre, il va devoir s'adapter aux changements climatiques, dont il est en grande partie responsable. Si la loi de Darcy prédit la mortalité de la forêt à cause du réchauffement climatique, nos travaux indiquent que la vie marine et par conséquent celle de l'Homme, est fortement menacée à cause des augmentations de température qui modifie la circulation océanique et du gaz carbonique qui acidifie l'océan.





Comment le changement climatique impacte-t-il la physiologie des coraux ?

IHPE - Vidal-Dupiol Jérémie, Brenner Raffalli Kelly, Toulza Eve & Mitta Guillaume
mitta@univ-perp.fr
Financement : ANR ADACNI

Les changements climatiques auxquels les êtres vivants sont confrontés sont particulièrement alarmants tant la vitesse de ces changements se fait à une échelle de temps qui est très courte et peu compatible avec les contraintes temporelles inhérentes à l'évolution des espèces. Les conséquences sont d'ores et déjà préoccupantes avec des impacts catastrophiques sur la biodiversité de notre planète. Parmi les écosystèmes les plus riches en espèces et les plus menacés, on compte les écosystèmes coralliens dont le support physique est assuré par les coraux constructeurs de récif. Ces derniers sont particulièrement sensibles à l'élévation de température des eaux marines de surface ainsi qu'aux

événements climatiques extrêmes (e.g cyclones) dont la fréquence ne cesse d'augmenter. Les raisons de cette grande sensibilité sont multiples. L'une d'entre-elles est liée au fait que ces espèces vivent souvent dans des environnements tropicaux dont la température est stable. Ces environnements ne sélectionnent donc pas sur la capacité de réponse aux variations de température plus fortes caractéristiques des latitudes plus tempérées. Une autre raison est que ces espèces sont sessiles (fixées à un substrat) et qu'elles ne peuvent donc pas échapper par migration aux fluctuations thermiques intolérables. Par ailleurs, ces coraux sont des espèces longévives (avec une durée de vie qui atteint plusieurs millénaires

pour certains individus) et elles seront donc confrontées à une élévation de température attendue de plusieurs degrés d'ici la fin du siècle, augmentation de température à laquelle beaucoup de ces espèces ne pourront probablement pas s'acclimater. Et enfin, n'oublions pas que ces augmentations de température peuvent entraîner aussi l'émergence de maladies qui altèrent actuellement grandement les coraux.

Même s'il n'y a plus de doute sur les effets délétères de ces facteurs sur les coraux, les altérations physiologiques induites par ces stress ainsi que leurs capacités adaptatives et les mécanismes moléculaires sous-jacents sont méconnues. Ces connaissances font dé-

faut pour disposer des outils permettant de prédire plus finement le devenir de ces espèces. Au laboratoire, nous avons essayé d'apporter des réponses à ces questions dans le cadre des thèses de Jérémie Vidal Dupiol et Kelly Brenner.

Nous avons pu montrer qu'une espèce de corail scléractiniaire (*Pocillopora damicornis*) avait une physiologie perturbée lors d'une augmentation de température de 1°C supérieure à la température des mois les plus chauds de l'année. Ce corail subit en effet une reprogrammation de l'expression de ses gènes avec une altération claire de ses

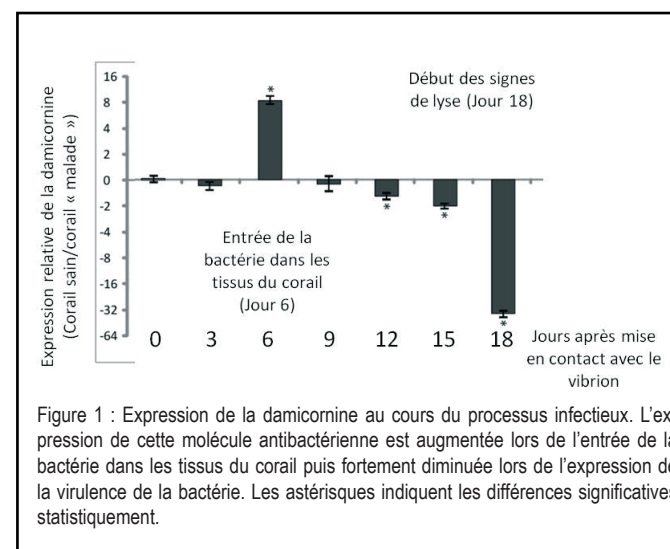


© photo : J. Vidal-Dupiol

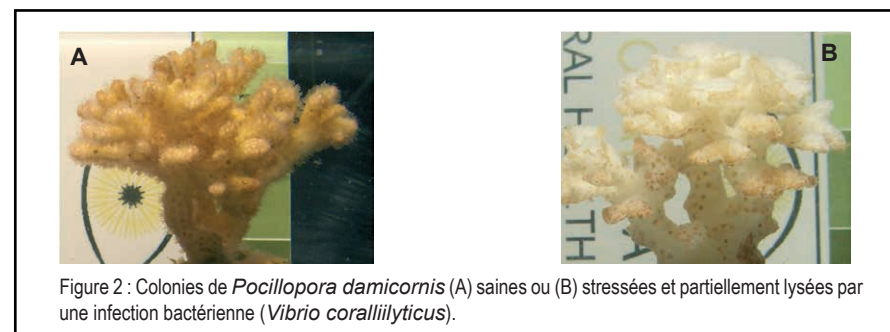
tissus du corail (Vidal-Dupiol, Ladrière et al. 2011; Vidal-Dupiol, Ladrière et al. 2011). Les facteurs de virulence de la bactérie diminuent alors fortement l'expression d'un gène du corail codant un antibiotique naturel, la damicornine (Fig 1, Vidal-Dupiol, Ladrière et al. 2011). Ainsi, les défenses du corail sont annihilées, la bactérie se multiplie et lyse les tissus coralliens (Fig 2), jusqu'à ce que mort s'en suive...

Par ailleurs, nous développons des approches de génomique des populations et menons une série d'expérimentations en milieu contrôlé en faisant subir des stress thermiques à différentes populations et espèces de coraux soumises à des environnements thermiques plus ou moins fluctuants. Ces comparaisons vont nous permettre de mieux comprendre

comment ces espèces répondent et s'adaptent aux variations de température. Notre choix s'est porté sur 1) une espèce tempérée, le corail rouge, pour laquelle nous comparons des populations de surface et de profondeur qui sont soumises à des régimes thermiques très différents (plus fluctuant en surface qu'en profondeur) et 2) une espèce tropicale qui est présente dans l'ensemble de l'Indo-Pacifique pour laquelle nous comparons des populations dont l'environnement thermique est stable (Polynésie, Nouvelle Calédonie) ou plus fluctuant (Sultanat d'Oman). Comme attendu, nos premiers résultats montrent que les populations soumises à des grandes fluctuations sont en effet plus résistantes au stress thermique. Nous mettons à jour actuellement les mécanismes moléculaires sous-jacents au niveau de l'entité « holobionte », c'est-à-dire tant au niveau du corail lui-même que des communautés microbiennes qui lui sont associées.



capacités immunitaires (Vidal-Dupiol, Dheilly et al. 2014). Par ailleurs, nous avons pu mettre en lumière qu'une des principales bactéries pathogènes de ce même corail (*Vibrio coralliilyticus*) devenait virulente à ces mêmes températures et se mettait à coloniser les



Références :

Vidal-Dupiol, J., N. M. Dheilly, et al. (2014). «Thermal stress triggers broad *Pocillopora damicornis* transcriptomic remodeling, while *Vibrio coralliilyticus* infection induces a more targeted immuno-suppression response.» *PLoS One* 9(9): e107672.

Vidal-Dupiol, J., O. Ladrière, et al. (2011). «Innate immune responses of a scleractinian coral to vibriosis.» *J Biol Chem* 286(25): 22688-98.

Vidal-Dupiol, J., O. Ladrière, et al. (2011). «Physiological responses of the scleractinian coral *Pocillopora damicornis* to bacterial stress from *Vibrio coralliilyticus*.» *J Exp Biol* 214(Pt 9): 1533-45.



Un nouveau mécanisme permettant aux plantes de contrecarrer les effets négatifs d'une augmentation de température

LGDP - Rémy Merret, CR CNRS, remy.merret@univ-perp.fr
Financement : CNRS, UPVD, ANR (RNPBodies, Heat-Adapt)

Les 7 et 8 décembre prochain, dans le cadre de la COP21, nos dirigeants vont décider de mesures à appliquer pour réduire nos émissions de CO₂ afin de limiter l'augmentation des températures à la surface du globe. Néanmoins, cette augmentation est d'ores-et-déjà en marche. Cette hausse régulière des températures met en danger notre qualité de vie et soulève de nombreux défis pour l'avenir. Un de ces défis, sera d'assurer une production agricole suffisante pour nourrir une population mondiale sans cesse croissante dans des conditions environnementales de plus en plus hostiles.

De part leur caractère sessile (i.e. immobile), les plantes subissent de plein fouet les hausses de température et leur croissance s'en trouve fortement affectée. Nous avons actuellement une connaissance très réduite des mécanismes moléculaires par lesquels les plantes survivent face à une augmentation de température. Par conséquent, une meilleure compréhension de ces mécanismes est fondamentale pour mieux appréhender la façon dont les plantes grandissent et se développent dans leur habitat naturel ou dans les champs cultivés. Lorsqu'une plante perçoit une augmentation significative de

la température, elle doit pour survivre modifier son programme génétique en conséquence. En d'autres termes, elle doit passer du mode « croissance » au mode « survie ». Cette reprogrammation nécessite l'arrêt rapide de la production des protéines afin de produire celles plus adaptées à la situation telles que les protéines de réponse au stress thermique. Néanmoins, avant de pouvoir synthétiser ces nouveaux acteurs, il est nécessaire de supprimer les précédents. Nos travaux¹ ont mis en évidence que la plante, lorsque la température augmente, active une enzyme, appelée XRN4. Cette enzyme cible et

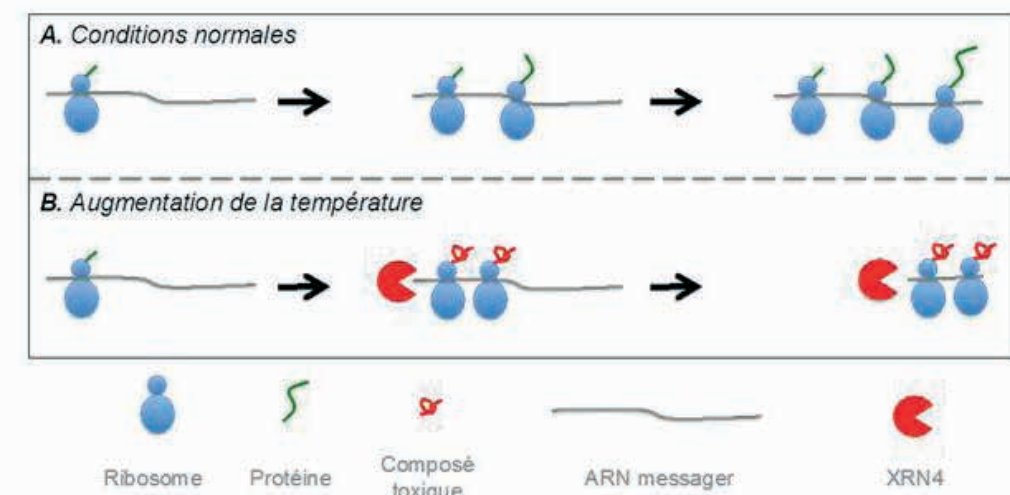
détruit précisément les anciens messages (appelés ARN messenger) laissant la place à ceux codant les protéines de stress thermique. Nous avons appelé ce nouveau processus de dégradation ciblée, le Heat-Stress Mediated Decay (ou H-SMD).

Récemment, notre équipe, en collabo-

ration avec le groupe du Professeur Pamela Green à l'Université de Delaware aux USA, a décortiqué les étapes clés de ce phénomène². En mode « croissance », chaque protéine est produite par un processus bien défini. L'information génétique présente au sein de l'ADN est tout d'abord transcrite en un message mobile appelé « ARN messenger ». Ce message est ensuite pris en charge par une unité de production appelée « ribosome » qui scanne ce message pour produire des protéines (Figure A). Ces protéines servent alors au bon développement de la plante. Nous avons découvert que lorsque la température augmente, le premier phénomène mis en place est un ralentissement de la production des protéines, appelé « ribosome pausing » (ou pause des ribosomes). Ce phénomène se met principalement en place pour des protéines à caractère hydrophobe (Figure B). En effet, ce type de protéines est particulièrement difficile à produire. Leur production nécessite l'intervention de molécules chaperonnes qui assistent leur repliement et évitent qu'elles revêtent un caractère toxique pour la plante. Lorsque la température augmente, ces molécules

chaperonnes ne remplissent plus leur rôle habituel entraînant alors la mise en place du « ribosome pausing ». Nous avons découvert que le « ribosome pausing » est l'élément déclenchant l'activation d'XRN4. XRN4 est alors recrutée au niveau des ribosomes pour détruire l'ARN messenger. Ainsi, la destruction de ce messenger par XRN4 limite la formation de composés toxiques favorisant ainsi la survie de la plante. Cette destruction permet alors de laisser place à la synthèse des protéines de réponse au stress thermique.

Nous avons par ailleurs démontré que des plantes incapables d'activer XRN4 ne pouvaient alors survivre à une augmentation de température prolongée. Ces résultats démontrent le rôle clé d'XRN4 dans les mécanismes de tolérance des plantes aux augmentations de température. Ces résultats ouvrent donc de nouvelles perspectives quant à la création d'espèces variétales mieux résistantes aux augmentations de température. Notre découverte est donc une première étape vers l'adaptation de notre agriculture aux changements climatiques, sujet crucial abordé dans le cadre de la COP21.



Mécanisme de dégradation de l'ARN messenger mis en place suite à une augmentation de température chez la plante. **A.** En conditions normales, l'ARN messenger est reconnu par des ribosomes qui transforment ce message en protéines. Ces protéines servent alors à la croissance de la plante. **B.** Face à une augmentation de température, certaines protéines ont tendance à mal se replier au cours de leur synthèse entraînant la formation de composés toxiques. XRN4 est alors recrutée au niveau des ribosomes pour détruire l'ARN messenger et ainsi limiter l'apparition de composés toxiques et permettre une meilleure survie de la plante.

Références :

1. Merret et al., 2013. XRN4 and LARP1 Are Required for a Heat-Triggered mRNA Decay Pathway Involved in Plant Acclimation and Survival during Thermal Stress. *Cell Reports*, 5, 1279-1293.

2. Merret et al., 2015. Heat-induced ribosome pausing triggers mRNA co-translational decay in *Arabidopsis thaliana*. *Nucleic Acids Research*, 43, 4121-4132.

L'habitat bioclimatique dans le réchauffement climatique

Toiture végétalisée - Jardin de Berchigranges

LAMPS - Stéphane Abide, Xavier Chesneau et Belkacem Zeghmati
zeghmati@univ-perp.fr



Dans le contexte environnemental de changement climatique d'origine anthropique, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) est dans le monde, le plus énergivore. En France, il représente, compte tenu de l'importance et de la diversité des énergies consommées, 47% de la consommation énergétique et fait partie des postes les plus importants d'émission de CO₂ (21% de la production de CO₂) (figure 1a). Pour les grandes agglomérations, les îlots de chaleur urbains combinés au réchauffement climatique global, ont un impact de plus en plus important sur

la consommation énergétique destinée à la climatisation des bâtiments, y compris dans les villes au climat tempéré. Afin de rendre pérenne le développement durable de ce secteur et de parvenir aux exigences énergétiques des réglementations thermiques, il est donc nécessaire de recourir à des bâtiments passifs ou à énergie positive (figure 1b).

La morphologie d'un bâtiment, en particulier sa toiture, joue un rôle très important dans le confort hygrothermique eu égard aux transferts thermiques dont elle est le siège. En effet,

de nombreux travaux montrent que près de 30 à 50 % des gains d'énergie d'un bâtiment sont apportés par sa toiture. Aussi, de nouvelles modifications architecturales (bioclimatique) et l'introduction d'écrans thermiques bioclimatiques ou à changement de phase dans les toitures classiques sont développées et testées dans diverses régions climatiques du monde. Elles sont destinées à la réduction des gains de chaleur dans le bâtiment afin d'y maintenir des températures agréables. Parmi ces écrans thermiques, le couvert végétal joue un rôle important,

dans la mesure où il constitue un type d'échangeur d'énergie qui absorbe le rayonnement solaire et échange, avec l'air atmosphérique, de l'énergie sous forme de chaleur sensible et latente. Cette option semble plus commode pour l'environnement d'autant plus que la toiture végétalisée a l'avantage d'être passive et a priori sans risque comparée à des solutions de haute technologie. Aussi, la végétalisation des toitures dans les villes est une solution prometteuse non seulement pour permettre de réduire les gains thermiques dans les bâtiments mais aussi pour lutter contre le réchauffement local et par conséquent contre le réchauffement climatique mondial par l'impact qu'elle pourrait avoir sur les émissions de gaz à effet de serre.

Un autre type d'écran thermique développé dans les pays à climat tropical et chaud est une toiture bioclimatique. Elle assure un éclairage et une ventilation naturelle de l'habitat contribuant ainsi à réduire la charge thermique des parois de l'habitat pour assurer un confort thermique aux occupants. L'amélioration de l'efficacité énergétique de l'enveloppe d'un bâtiment peut être obtenue par l'incorporation

de matériaux à changement de phase (MCP) dans les parois et la toiture des habitats. L'emploi des MCP apparaît très prometteur pour réduire la consommation d'été (climatisation) tout en préservant un bon niveau de confort pour des habitats à faible inertie thermique.

C'est dans ce contexte que nos travaux regroupent des sujets sur la thermique de l'habitat. Ainsi, dans le cadre de la climatisation passive consistant à minimiser l'énergie thermique du soleil par diverses techniques, nous nous sommes intéressés à la modélisation d'un habitat bioclimatique avec une toiture assimilée à un capteur plan dont la face externe est composée de tuiles transparentes et la face interne d'un réflecteur pour assurer simultanément une climatisation passive et un éclairage naturel satisfaisant (figure 2a).

Dans le domaine des écrans thermiques bioclimatiques, nous avons procédé à une étude numérique et expérimentale des transferts de chaleur et de masse à l'intérieur d'un système composé d'un local et d'une toiture végétalisée pour déterminer les conditions de confort dans ce local (figure 2b). Nos travaux concernent également

l'analyse de l'influence de la composition des matériaux de construction ainsi que d'écrans thermique composés de matériaux à changement de phase sur le confort thermique.

Figure 2a : Habitat bioclimatique



Figure 2b : Toiture Végétalisée

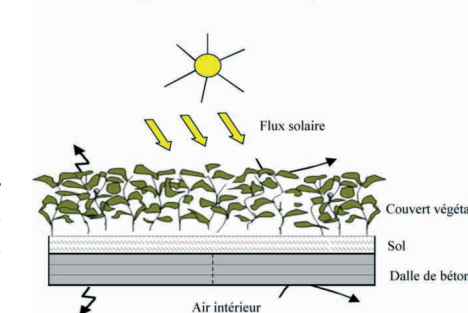


Figure 1a
Consommation Énergétique Finale: 115.9 Mtep

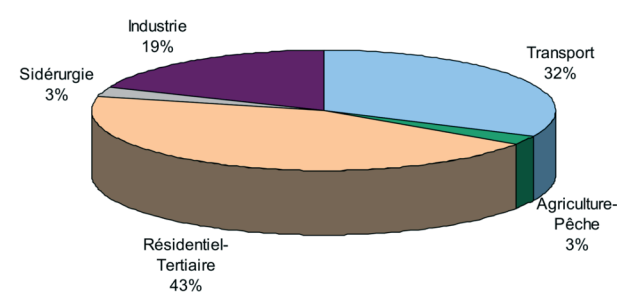


Figure 1b

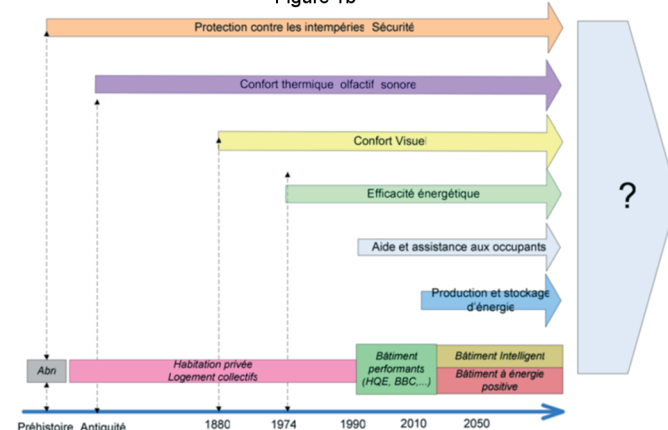


Figure 1a : Proportion de la consommation d'énergie par secteur en France
Figure 1b : Evolution des performances énergétiques des bâtiments au fur et à mesure des normes
(H. Chenailler, Thèse de l'Université de Grenoble (2012))

L'implantation de champs de panneaux photovoltaïques dans les communes littorales

CDED- Marcel Sousse, marcel.sousse@univ-perp.fr

L'implantation de champs de panneaux photovoltaïques dans les communes littorales se heurte à plusieurs principes applicables dans ces zones, issus de la loi n° 82-2 du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral, dite « loi Littoral ». A l'heure où la France s'engage dans la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique, et au moment où se discute au niveau européen le nouveau paquet énergie climat, cette réglementation n'est plus tout à fait adaptée aux enjeux actuels. C'est pourquoi, la loi récente du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance

verte, opère un nouveau compromis entre les règles de la loi Littoral et la nécessité du développement des énergies renouvelables sur le territoire.

1. L'extension de l'urbanisation réalisée par la construction d'une centrale photovoltaïque

Le juge administratif, qui a développé une définition très large de l'urbanisation, considère comme telle toute transformation du paysage par la construction de bâtiments, quelle que soit leur affectation. Ainsi, une aire de stationnement pour véhicules constitue une urbanisation au sens de l'article L. 146-

4 du code de l'urbanisme. De manière générale, l'extension de l'urbanisation est constituée à partir du moment où un permis de construire est délivré ou un bâtiment est implanté. Appliquant cette ligne jurisprudentielle, la Cour administrative de Bordeaux a jugé que l'implantation de panneaux photovoltaïques pouvait constituer une extension de l'urbanisation, même si ces panneaux sont seulement « fixés sur supports métalliques à plus d'un mètre du sol » (CAA Bordeaux, 4 avr. 2013, n° 12BX00153, Assoc. pour la sauvegarde du patrimoine martiniquais : Environnement et Développement durable, 2013, n° 7, p. 31, comm. M. Sousse).

2. La continuité de la centrale photovoltaïque avec des zones urbanisées

Photovoltaïque et espaces remarquables

Jusqu'à présent, l'implantation d'une centrale photovoltaïque apparaissait difficilement compatible avec la reconnaissance du caractère remarquable du secteur, au sens de l'article L. 146-6 du code de l'urbanisme. La loi du 17 août 2015 prévoit désormais la possibilité d'autoriser, dans les communes littorales, y compris dans les espaces remarquables, « l'atterrage des canalisations et leurs jonctions, lorsque ces canalisations et jonctions sont nécessaires à l'exercice des missions de service public ». Cette dérogation rend possible la construction d'une centrale solaire à proximité d'un espace remarquable.

Photovoltaïque en zone agricole et littorale

Depuis la loi de finances pour 2008, les bénéfices industriels et commerciaux issus de la vente d'électricité photovoltaïque produite par un agriculteur sur son exploitation sont rattachés aux bénéfices agricoles. Cette mesure a eu

pour effet d'encourager le développement du photovoltaïque, qui, ce faisant, présente le risque d'entrer en concurrence avec la production agricole ou les autres usages traditionnels du sol. C'est pourquoi, la loi du 17 août 2015 met l'accent sur la nécessité d'éviter la spéculation et la disparition des terres agricoles, ce qui tend à limiter l'implantation de champs de panneaux photovoltaïque en zone agricole.

Photovoltaïque dans les autres zones du plan local d'urbanisme

Dans les autres espaces du PLU, zone naturelle ordinaire, à urbaniser ou urbanisée, le principe de continuité des constructions avec l'urbanisation existante, posé par le I de l'article L. 146-4 du code de l'urbanisme, constitue la principale limite au développement des énergies renouvelables.

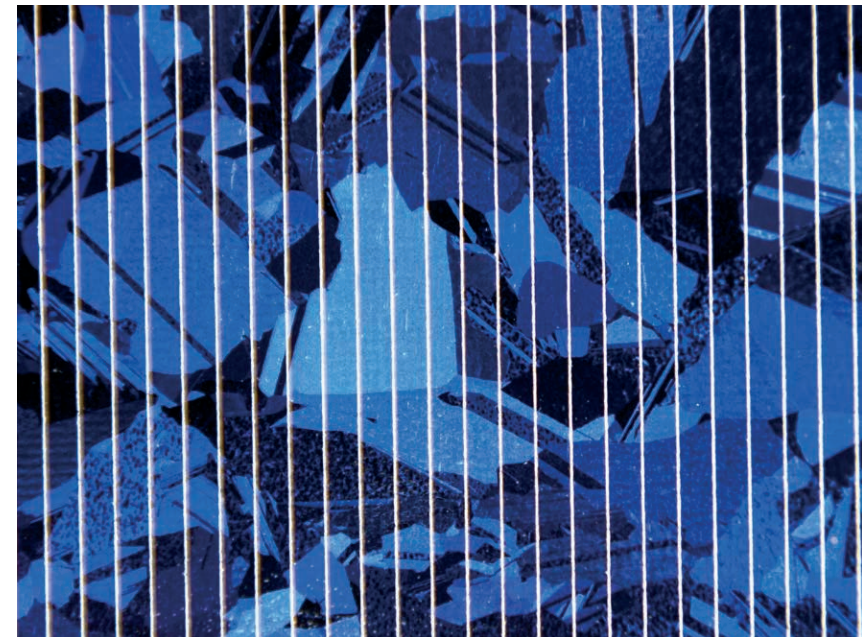
3. Centrale photovoltaïque et espaces proches du rivage

En principe, dans un espace proche du rivage, le II de l'article L. 146-4 du code de l'urbanisme prévoit que seule est autorisée « l'extension limitée » de l'urbanisation, dans la mesure où celle-ci est justifiée et motivée, dans le plan local d'urbanisme, selon des critères liés à la configuration des lieux ou à l'accueil d'activités économiques exigeant la proximité immédiate de l'eau. La notion d'extension limitée est appréciée par le juge

« compte tenu de l'implantation, de l'importance, de la densité et de la destination des constructions envisagées ainsi que des caractéristiques topographiques de la partie concernée de la commune ». Ces critères excluent dans l'espace proche du rivage métropolitain, la possibilité d'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol.

4. Centrales photovoltaïques et bande littorale de cent mètres

Le III de l'article L. 146-4 du code de l'urbanisme, issu de la loi Littoral, pose un principe d'interdiction des constructions ou installations, en dehors des espaces urbanisés, sur une bande littorale de cent mètres à compter de la limite haute du rivage. Cette règle compromet l'implantation de panneaux photovoltaïques, ou des ouvrages techniques, dans cet espace. La loi du 17 août 2015, a intégré une dérogation à l'interdiction posée par ces dispositions, concernant « l'atterrage des canalisations et à leurs jonctions, lorsque ces canalisations et jonctions sont nécessaires à l'exercice des missions de service public définies à l'article L. 121-4 du code de l'énergie », sous réserve de l'organisation d'une enquête publique.





Champ de canne à sucre, Ile Maurice - © photo : Xavier Lubeigt

Amélioration de l'efficacité énergétique dans les territoires de l'Océan Indien

Procédé hybride solaire/biomasse pour la production d'électricité et le traitement d'eau, intégré à l'industrie de la canne à sucre.

FAiD - Xavier Py, py@univ-perp.fr
Financement : APP COI, 2015

Dans le cadre du programme de développement des énergies renouvelables et d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les états membres de la Commission de l'Océan Indien (COI), la toute nouvelle Fédération de recherche FAiD UPVD-IRD accréditée

par le Ministère au printemps dernier (FED 4264) a déposé un premier projet pluridisciplinaire.

Ce projet mutualise les compétences des laboratoires PROMES, ArtDev, CE-FREM et de l'Université de Maurice.

Le Pr Toolseeram Ramjeawon du Department of Civil Engineering et le Dr Vikram Seebaluck du Department of Chemical & Environmental Engineering de l'Université de Maurice, à Re-duit, sont des spécialistes académiques locaux de la filière du sucre de canne.

Ils ont déjà publié sur le sujet des analyses de cycle de vie complètes et collaborent étroitement avec les industriels de l'île. EXOSUN et TMW sont deux PME françaises respectivement spécialisées dans les technologies solaires et dans les unités de traitement d'eau. Elles seront impliquées dans la conception et l'optimisation de l'approche hybride et participeront à la réalisation du pilote sur site industriel.

Historiquement, les producteurs de sucre de canne valorisent avantageusement la bagasse (sous produit de la canne à sucre) et rendent ainsi auto-suffisante la filière sur le plan énergétique. Depuis plusieurs décennies, les producteurs n'ont plus aucune visibilité concernant la décroissance du prix du sucre sur le marché, alors que leur coût de production augmente. La concurrence grandissante sur les marchés a contraint les petits producteurs à s'organiser et à passer à une échelle industrielle. Dans ce contexte, l'amélioration des performances des procédés de transformation de la canne a ainsi permis de produire simultanément de l'électricité disponible pour le marché local de l'énergie (456 GWh en 2014). Les turbines industrielles étant avantageusement disponibles à l'année alors que la biomasse à valoriser ne l'est que pendant les 6 mois de récolte de la canne, du charbon importé d'Afrique du Sud assure le complément (772.000t en 2014 pour 54,6 M€). La filière est donc actuellement fortement entachée de cette dépendance à une énergie fossile importée (43% de l'énergie utilisée pour la production d'électricité sur l'île) ainsi qu'à la production de gaz à effet de serre.

Le projet déposé a pour objectif principal d'améliorer la soutenabilité de la filière en réduisant la dépendance au charbon, en intégrant des énergies renouvelables et en réduisant les impacts sur l'eau (50 Mm³ consommés par an dans cette région en stress hydrique).

Le charbon va ainsi être remplacé par des concentrateurs solaires permettant de produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des turbines en dehors de la saison de la moisson de la canne.



à effet de serre de 1.4 Mt CO₂ eq./an. La substitution de l'énergie fossile permettra d'éviter cette émission et offrira par ailleurs, de par la production d'électricité d'origine solaire, d'éviter 0.27 Mt CO₂ eq./an. L'approche proposée permet donc à terme de faire basculer la filière dans un mode avantageux et même susceptible de tirer bénéfice des points carbone.

Le champ solaire disponible au cours de la période de fabrication du sucre servira à alimenter une unité de traitement des eaux résiduelles de la filière actuellement à l'origine d'impacts environnementaux importants sur les écosystèmes lagunaires. L'eau ainsi potentiellement produite peut représenter environ 30% des besoins en eau de la filière. Au cours de cette période, le système solaire pourra être hybridé par la biomasse de sorte à compenser les variations et intermittences solaires.

Bien qu'initialement développée sur l'île Maurice, l'approche étudiée au cours du projet pourra tout aussi bien être appliquée aux autres territoires producteurs de sucre de canne.

D'après les données disponibles, on peut ainsi estimer qu'une surface de 1500 ha de concentrateurs solaires peut se substituer au charbon alors que plus de 17.000 ha de plantations de canne ont été déjà abandonnées sur Maurice faute de rentabilité. Les surfaces nécessaires au déploiement des champs solaires ne rentreront donc pas en compétition avec des terres actuellement utilisées.

Sur le plan environnemental, la consommation de charbon induit une émission de gaz



Bagasse, Ile Maurice

Eco-Tech Ceram (ETC) :

des déchets industriels au secours de la transition énergétique

Contact ETC :

Antoine Meffre
antoine.meffre@ecotechceram.com
<http://www.ecotechceram.com/>

Le concours mondial de l'innovation

En 2013, le Premier Ministre a initié un concours mondial d'innovation avec le soutien du programme d'investissements d'avenir. L'objectif est de faire émerger les talents de l'économie française en identifiant et en accompagnant la croissance d'entrepreneurs français ou étrangers dont le projet d'innovation présente un réel potentiel.

En mars 2014, ECO-TECH-CERAM avait déjà été lauréate de la première phase du concours mondial d'innovation (amorçage) et avait reçu une aide financière de 200 000 €. En septembre 2015, sur la base des résultats obtenus, la jeune entreprise réitère son succès en devenant lauréate de la deuxième phase du concours (levée de risque).

La jeune startup Eco-Tech-Ceram (ETC) du laboratoire PROMES (CNRS et Université de Perpignan) lauréate du prix du concours mondial de l'innovation phase II.

Dans le cadre du Concours Mondial de l'Innovation CMI II (financé par BPI et PIA), la startup va développer en 2 ans une application modulaire de stockage thermique originale pour un budget global de 3 millions d'euros. Antoine Meffre, initialement doctorant de l'Université de Perpignan au sein du laboratoire PROMES (CNRS et Université de Perpignan), a reçu des mains du Président François Hollande le prix de la 2^{ème} phase du concours pour le compte d'Eco-Tech-Ceram et des partenaires du projet (PROMES, le groupe industriel ADF et ARMINES-Mines de Douai).

Le stockage de l'énergie est un défi majeur de la transition énergétique. Pour relever ce défi mondial, le laboratoire PROMES (CNRS et Université de Perpignan) a initié et développé depuis 6 ans une démarche originale qui consiste à utiliser des déchets industriels pour fabriquer des matériaux de stockage. Ces travaux, financés par l'Agence Nationale de la Recherche (dans le cadre des programmes SESCO et SOLSTOCK), permettent ainsi de valoriser des déchets amiantés, des laitiers sidérurgiques, des cendres volantes et autres mâchefers. Outre le fait que le gisement en déchets industriels est énorme, cette voie offre une nouvelle vie à la matière très valorisante. L'usage de ces céramiques recyclées comme matériau de stockage permet de se rembourser rapidement de l'énergie nécessaire pour traiter le déchet. Sur le plan commercial, ces céramiques recyclées coûtent de 100 à 1000 fois moins cher que les céramiques de synthèse actuelles !

Antoine Meffre a ainsi créé la société Eco-Tech-Ceram à partir des résultats de recherche du laboratoire afin d'assurer le transfert de technologie et le développement industriel de la filière innovante.

ETC a obtenu le soutien du Réseau Entreprendre, de Créalia, d'Initiative en Pays Catalan, d'Initiative Remarquable et celui de Kic INNO ENERGY. Désormais ETC réalise une levée de fonds participative sur WiSEED (première plateforme participative de crowdfunding en France). L'objectif est de 300 000 €. ETC a besoin de soutien, c'est l'occasion de devenir actionnaire et acteur de cette jeune entreprise innovante au service de la transition énergétique :

<https://www.wiseed.com/fr/startups/eco-tech-ceram>



Les unités de recherche

ART-DEV : Acteurs, Ressources et Territoires dans le Développement, UMR 5281 CNRS-UPVD-UPVM-CIRAD-UM
Géographie : Dynamiques des territoires, aménagement durable, urbains et ruraux, développement local dans les pays du Nord et du Sud.

BAE : Biocapteurs Analyses, Environnement, équipe projet
Environnements : Etude des impacts anthropiques sur la qualité de l'eau, biocapteurs et nouveaux outils analytiques.

CDED : Centre du Droit Economique et du Développement, EA UPVD 4216
Droit : droit privé (droit de la consommation et de la concurrence) et droit public (amélioration de la gouvernance administrative et scientifique).

CEFREM : Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens, UMR 5110 CNRS- UPVD
Géosystèmes et écosystèmes aquatiques : fonctionnement et évolution du continuum terre-mer sous l'effet du changement global.

CORHIS : Communication, Ressources Humaines et Intervention, EA UPVM-UPVD
Sociologie : communication, transformation et intervention sociale.

CRESEM : Centre de Recherches Historiques sur les Sociétés Méditerranéennes, EA UPVD
Histoire, histoire des arts, littérature, sociologie, droit comparé : histoire, arts et patrimoines des sociétés méditerranéennes.

CRIOBE : Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement, USR 3278 EPHE-UPVD-CNRS
Récifs coralliens : étude de l'origine et du maintien de la biodiversité, de l'écologie chimique, de la chimie de l'environnement, de la caractérisation et des activités biologiques de nouveaux métabolites ainsi que du fonctionnement de l'écosystème. Implanté à Perpignan et à Moorea en Polynésie française.

DALI LIRMM : Digits, Architectures et Logiciels Informatiques, équipe projet de l'UMR 5506 CNRS-UM2
Informatique : Amélioration de la qualité numérique et de la haute performance des calculs.

FAiD : Fédération d'Aide pour le Développement, FED 4264 UPVD-IRD
Aide au Développement : structure transversale à l'UPVD

HNHP : Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, UMR 7194 CNRS-MNHN-UPVD
Préhistoire : Dynamiques des 1^{ers} peuplements humains, comportements des Néandertaliens et des Hommes anatomiquement modernes replacés dans leur contexte paléoécologique, paysages, archives sédimentaires, matériaux. Fouilles entre autres à la Caune de l'Arago : l'Homme de Tautavel -560 000 ans.

IHPE : Interactions, Hôtes, Pathogènes, Environnements, UMR 5244 CNRS-UPVD-IFREMER-UM
Biologie et écologie : écologie et évolution des systèmes hôte-parasite.

IMAgES-EspaceDev : Institut de Modélisation et Analyses en Géo-Environnement et Santé, équipe projet de l'UMR 228 IRD-UM-UAG
Environnements : Acidification des océans, méthodes de modélisation.

LAMPS : Laboratoire de Mathématiques et Physique, EA UPVD 4217
Mathématiques et Physique : Modélisation, analyse et simulations numériques avec applications à la mécanique, la chimie-physique et aux sciences de l'ingénieur.

LEPSA : Laboratoire Européen Performance, Santé, Altitude, EA UPVD 4640
Physiologie et physiopathologie : analyse des déterminants physiologiques et environnementaux de l'optimisation de la performance, ainsi que leurs conséquences sur la santé physique et mentale des sportifs. Situé à proximité du Centre National d'Entraînement en Altitude à Font-Romeu.

LGDP : Laboratoire Génome et Développement des Plantes, UMR 5096 CNRS-UPVD
Biologie : Etude de l'organisation du génome des plantes et la régulation des gènes, plus particulièrement leur rôle dans le développement des plantes et leur adaptation aux stress biotique et abiotique.

MRM : Montpellier Research in Management, EA 4557 UM-UPVM-UPVD-MBS
Economie et management : la production, la performance managériale, le tourisme.

PROMES : Laboratoire Procédés, Matériaux et Energie Solaire, UPR 8521 CNRS - convention UPVD
Energie solaire : solaire à concentration, matériaux et conditions extrêmes, conversion, stockage et transport de l'énergie. Implanté à Perpignan (Tecnosud), Odeillo (grand four solaire), Targassonne (Thémis, centrale solaire).



A DÉCOUVRIR : **LE TOUT NOUVEAU FILM SUR** **LA RECHERCHE DE L'UPVD**

Allez sur go.upvd.fr/film

UNIVERSITÉ
PERPIGNAN
VIA
DOMITIA



Université de Perpignan Via Domitia
52 avenue Paul Alduy
66 860 Perpignan Cedex 9
33 (0)4 68 66 20 00
www.univ-perp.fr