

# Exploreur

Magazine scientifique de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées



# 02 | nov. 2015 | [www.univ-toulouse.fr](http://www.univ-toulouse.fr)

## Le défi climatique

COMPRENDRE,  
LUTTER, S'ADAPTER

### IMPACT

Des champs magnétiques extrêmes pour explorer la matière

### INTELLIGENCE COLLECTIVE

En route vers le Big Data

### PORTRAIT

Ange Nzihou : catalyseur de talents



# Et si on RÉPARAIT au lieu de jeter ?



Où et comment sur *toulouse-metropole.fr*  
Partagez vos idées #toulouseclimat2015



toulouse  
métropole

Toulouse en grand !

# Exploreur

**Directrice de la publication**  
Marie-France Barthet

**Rédacteur en chef**  
Jean-François Haït

**Codirection du magazine**  
Catherine Gadon  
Alexandre Lévy  
Sylvie Roques

**Comité de rédaction**  
Joy Cozar  
Catherine Dematteis  
Véronique Desruelles  
Christine Ferran  
Catherine Gadon  
Aurélie Garriga  
Alexandra Guyard  
Florence Lauriac  
Alexandre Lévy  
Valeria Medina  
Françoise Montet-Lattes  
Sylvie Roques  
Claude Torrecilla  
Nadia Vujkovic

**Secrétaire générale de rédaction**  
Valeria Medina

**Ont participé à ce numéro**  
Anne Debroise, Anne Lesterlin, Carina Louart, Pascal Nguyen, Camille Pons

**Comité scientifique**  
Membres du Département Recherche, Doctorat et Valorisation (DRDV)

**Abonnements**  
Séverine Couteau  
communication@univ-toulouse.fr

**Diffusion**  
Acti-médias

**Conception graphique & mise en pages**  
Alexandra Pourcellié, Arekusu

**Corrections**  
Josselin Rieu

**Contacts**  
communication@univ-toulouse.fr  
Tél. : 05 61 14 93 45



**Impression**  
Equinox - Sud Graphie Groupe  
Parc d'activités  
industrielles de Gabor  
81370 Saint-Sulpice

Dépôt légal : En cours  
ISSN 2428-6575 (version papier)  
ISSN 2428-6567 (version en ligne)  
Tirage 9 000 exemplaires

**Illustration de couverture :**  
Acquisition de données de terrain pour calibrer les observations faites par les satellites qui suivent l'évolution des glaciers en Alaska. © Mike Hambrey

Le magazine *Exploreur* est édité par l'Université Fédérale  
Toulouse Midi-Pyrénées :  
41, allées Jules-Guesde  
CS 61321  
31013 TOULOUSE CEDEX 6



## Le climat, un dossier stratégique et polychrome

PAR **CHRISTOPHE GIRAUD**

Délégué régional du CNRS en Midi-Pyrénées



En tant que membre fondateur et engagé de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, je suis heureux de signer l'éditorial de ce deuxième numéro d'*Exploreur* auquel je souhaite longue vie.

Le CNRS travaille de concert avec l'ensemble du monde académique de la région Midi-Pyrénées et les travaux menés dans ses laboratoires trouvent toute leur place dans ce nouveau média.

Cette fin d'année est marquée par la tenue de la conférence mondiale COP21 à Paris. Notre engagement citoyen est sollicité et la prise de conscience commune passe par la diffusion des recherches scientifiques auprès du plus grand nombre. Dans ce numéro, ce sont donc les recherches menées sur ce « défi climatique » qui sont à l'honneur. Les trois angles choisis « comprendre, lutter et s'adapter » sont autant d'occasions d'interroger les scientifiques de disciplines très diverses et de valoriser leurs travaux.

Le nombre de champs disciplinaires mobilisés autour du climat est en effet significatif. Ce dossier n'est pas uniquement vert, mais polychrome en nous montrant des collaborations entre des laboratoires, des disciplines, des établissements de recherche. Elles exposent la richesse de l'écosystème régional, sa diversité ainsi que sa reconnaissance et sa visibilité internationales. De l'Arctique au climat dans nos villes, en passant par les modèles climatiques ou le marché mondial du carbone, ce dossier nous offre un panorama haut en couleur.

Les autres rubriques témoignent également du foisonnement de la production scientifique en Midi-Pyrénées : un record mondial au LNCMI-CNRS, une plateforme inattendue de valorisation des disciplines artistiques ou encore un chercheur d'Albi fédérateur de sa discipline.

Fier de reconnaître des laboratoires qui vous sont proches, heureux d'en découvrir certains à travers cette nouvelle promenade dans les recherches menées en Midi-Pyrénées, je ne doute pas que vous prendrez plaisir à lire ce numéro deux d'*Exploreur*.



**227 148 ÉTUDIANTS  
35 GRANDES ÉCOLES  
ET UNIVERSITÉS**

**LANGUEDOC-ROUSSILLON + MIDI-PYRÉNÉES**

# **MA NOUVELLE RÉGION, MON NOUVEL HORIZON**

[monnouvelhorizon.fr](http://monnouvelhorizon.fr)



**la Région**

Languedoc-Roussillon



**RÉGION  
MIDI-PYRÉNÉES**

LE 1<sup>er</sup> JANVIER 2016, UNE SEULE RÉGION.

# Sommaire



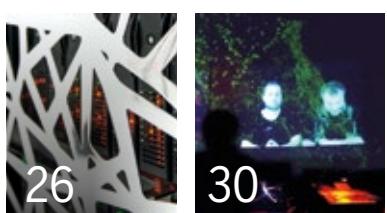
## 06 Impact

Des champs magnétiques extrêmes pour explorer la matière



## 08 Décryptage

- Lymphocytes T régulateurs : la boucle est bouclée
- Proust à tous les temps
- Des satellites d'étudiants bientôt dans l'espace



## 12 Dossier

### Le défi climatique

- Arctique : un laboratoire du climat
- L'impact du réchauffement sur les espèces se confirme
- Économie : sauver le climat, à quel prix ?
- Ça chauffe en ville !



## 24 Docteur, docteure

- Claire Lafossas
- Maxime Wavasseur

## 25 Sans frontière

Le cloud computing au service de l'environnement en Asie

## 26 Intelligence collective

En route vers le Big Data

## 28 Esprit libre

Corinne Bonnet : Historienne du « vivre-ensemble » religieux

## 30 Valeurs ajoutées

Les arts, créateurs de valeurs

## 32 Portrait

Ange Nzihou : catalyseur de talents

# Des champs magnétiques extrêmes pour explorer la matière

Le Laboratoire national des champs magnétiques intenses se dote d'un nouveau bâtiment pour produire en toute sécurité des champs encore plus forts. Ils permettront d'étudier plus finement les propriétés de matériaux d'intérêt considérable comme le graphène ou les supraconducteurs.

PAR JEAN-FRANÇOIS HAÏT

« Nous travaillons aux limites... » Pour appuyer son propos, Paul Frings, responsable de l'équipe Générateurs et aimants au Laboratoire national des champs magnétiques intenses (LNCMI-CNRS)<sup>1</sup>, sur le campus de Rangueil à Toulouse, désigne dans une vitrine une bobine de cuivre littéralement écartelée. Elle n'a pas résisté à la pression exercée par le champ magnétique intense qu'elle a elle-même générée. « Ma mission, c'est de faire en sorte d'obtenir un champ maximal sans que les bobines n'exploset » poursuit l'ingénieur. Le nouveau bâtiment du laboratoire, inauguré le 15 octobre dernier, est précisément destiné à relever ce défi.

Car le LNCMI-CNRS a battu un record en juillet dernier : un champ magnétique de 90 teslas, obtenu sur plus de 9 millisecondes, une durée très longue pour un champ d'une telle intensité<sup>2</sup>. Le tesla, c'est l'unité de mesure du champ magnétique. Le magnet qu'on colle sur son frigo, c'est environ 0,5 tesla en

permanence. Ici, pas de magnet mais de grosses bobines de cuivre refroidies à très basse température, alimentées par un grand nombre de condensateurs placés au sous-sol dans une salle dédiée. Au cœur de chaque bobine, on place l'échantillon qu'on veut analyser, relié à un dispositif de mesure. Lorsque les condensateurs sont déchargés dans une bobine, un champ magnétique est généré. À Toulouse, on produit un champ magnétique « pulsé » : très fort, mais court. Au pied des Alpes, à Grenoble, l'autre composante du LNCMI-CNRS délivre un champ magnétique moins puissant (36 teslas) mais continu (lire encadré).

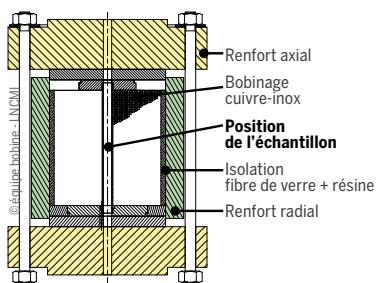
Mais pourquoi utiliser un champ magnétique ? « Cela permet de mettre en évidence les propriétés électroniques et magnétiques de la matière, explique Geert Rikken, directeur du laboratoire. Plus intense est le champ, plus on explore finement ces propriétés. » Concrètement, appliquer un champ magnétique sur un échantillon provoque chez celui-ci des variations de résistance, de température, de caractéristiques optiques ou mécaniques... que l'on peut mesurer. Les applications sont très nom-



© CNRS Photothèque / KNAEO William

► **Bobinage de l'aimant intérieur d'une bobine gigogne, permettant de faire des impulsions de champ magnétique au-delà de 80 teslas.**

## COUPE LONGITUDINALE D'UNE BOBINE



breuses. En médecine, l'IRM (imagerie par résonance magnétique) est sans doute la plus connue. Au LNCMI-CNRS, la recherche est fondamentale, mais sur des matériaux dont les promesses sont considérables. Comment, par exemple, remplacer les composants en silicium utilisés dans toute l'électronique, et fabriquer de nouveaux composants plus performants dont l'épaisseur est quasiment nulle ? Les candidats sont le graphène, le célèbre matériau fait d'une couche unique de carbone découvert en 2004,

1. Laboratoire national des champs magnétiques intenses – LNCMI-CNRS – Unité propre du CNRS. • 2. Au LNCMI-CNRS, il existe aussi une installation baptisée Mégagauss, dans laquelle le champ peut atteindre 250 teslas pendant quelques millièmes de seconde au sein d'une petite bobine qui est systématiquement détruite.



ou encore les « dichalcogénures des métaux de transition », une famille de composés chimiques très prometteurs mais dont les propriétés électroniques sont encore mal connues. Autre centre d'intérêt majeur : les supraconducteurs. Ces matériaux sont capables de conduire le courant électrique sans résistance, donc sans déperdition d'énergie, avec performances et économie à la clé. L'IRM en imagerie médicale ou le train à lévitation magnétique Maglev au Japon y font déjà appel. Problème : la plupart ne fonctionnent qu'à des températures extrêmement basses, environ -260°C, incompatibles avec une utilisation courante. Cependant, en 1986, on a découvert des supraconducteurs à « haute température », c'est-à-dire à -150°C environ... Ils constituent un progrès énorme vers l'objectif de fabriquer un jour des supraconducteurs à température ambiante. Mais pour cela, il faut comprendre leurs propriétés les plus intimes.

**MA MISSION, C'EST  
D'OBTENIR UN CHAMP  
MAXIMAL SANS  
QUE LES BOBINES  
N'EXPLOSENT**

Objectif : atteindre 100 teslas sur une longue durée en toute sécurité. « Aller encore plus loin en puissance, cela veut

Cyril Proust s'y est attaché depuis plusieurs années. Il a conçu une expérience qui utilise un champ magnétique pour supprimer la supraconductivité de matériaux nommés cuprates et permet de révéler ainsi ce que les physiciens nomment « surface de Fermi ». Il s'agit en quelque sorte de la carte d'identité d'un métal à partir de laquelle on peut déduire ses propriétés électroniques, et donc la manière dont il va se comporter au passage d'un courant. « J'ai bénéficié au LNCMI-CNRS d'un environnement unique, car tous les dispositifs expérimentaux peuvent être fabriqués sur place » souligne-t-il. L'expérience, menée à Toulouse avec des collègues canadiens, a donné lieu à la publication d'un article scientifique dans la revue *Nature* le 31 mai 2007, qui est depuis fréquemment cité. Et le projet continue, car il s'agit désormais pour Cyril Proust d'explorer les effets du « dopage », autrement dit de l'ajout d'électrons à ces cuprates, et de comprendre le mécanisme à l'origine de la supraconductivité dans ces matériaux. Avec, à la clé, une piste vers la supraconductivité à température ambiante. « Je partage aussi le savoir-faire que j'ai acquis sur mes manips avec les équipes qui nous visitent » remarque-t-il.

En effet, le LNCMI-CNRS attire des chercheurs étrangers, pour beaucoup européens mais aussi du Japon, du Canada ou de Russie, sur appel à propositions deux fois par an. Plus fonctionnel, le nouveau bâtiment, financé par l'Europe (FEDER), la Région Midi-Pyrénées et l'État, permettra d'accueillir davantage de visiteurs. De plus, les bobines se trouvent désormais dans des enceintes aux murs très épais dont les portes ressemblent à celles de coffres-forts.

dire faire de nouvelles découvertes » souligne Cyril Proust. « Les États-Unis et la Chine ont d'énormes budgets, la Corée du Sud se lance. Il y a une course aux champs magnétiques intenses, conclut Geert Rikken. Et avec ces nouveaux moyens, nous pouvons rester dans le peloton de tête. »

**10 bobines**  
pour les expériences en champ pulsé

**90 teslas**  
sur 9 millisecondes en juillet dernier

**100 teslas**  
sur une longue durée : l'objectif à atteindre

**120 publications**  
scientifiques en 2014

## *Toulouse, Grenoble*

### ET L'EUROPE

Le Laboratoire national des champs magnétiques intenses (LNCMI-CNRS) est réparti sur deux sites. À Toulouse, où il est conventionné avec l'INSA Toulouse et l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, on produit des champs magnétiques de quelques millisecondes très intenses, destinés à de petits échantillons. À Grenoble, des champs plus faibles, qui permettent des mesures de longue durée (plusieurs heures) sur des échantillons plus gros. Les deux sites, complémentaires, accueillent au total 130 projets scientifiques par an. En outre, le LNCMI-CNRS et les laboratoires homologues de Dresde (Allemagne) et de Nimègue (Pays-Bas) se sont regroupés dans l'European Magnetic Field Laboratory (EMFL), qui sélectionne les projets et les répartit sur les quatre sites.

[www.emfl.eu](http://www.emfl.eu)

# Lymphocytes T régulateurs : la boucle est bouclée

Le Centre de physiopathologie de Toulouse-Purpan démontre un mécanisme naturel en jeu dans le contrôle des maladies auto-immunes, avec l'aide d'une immunologue américaine de renom.

PAR ANNE LESTERLIN

Leur nom de code : lymphocytes T régulateurs, ou Treg. Leur mission : nous protéger contre les maladies auto-immunes (sclérose en plaques, diabète juvénile, etc.) et les inflammations chroniques telles que la maladie de Crohn, dans lesquelles le système

immunitaire se retourne contre le patient en s'attaquant à ses propres cellules.

Comme la majorité des lymphocytes T, ces Treg sont produits à partir de cellules précurseurs dans le thymus, une glande située au-dessus du cœur, surtout active pendant l'enfance. Une fois matures, ces Treg migrent vers le reste de l'organisme où ils accomplissent leur mission de contrôle : ils empêchent les autres cellules du système immunitaire de se tromper de cible et de provoquer des maladies auto-immunes et inflammatoires.

L'équipe TILT<sup>1</sup> de Joost Van Meerwijk, du Centre de physiopathologie de Toulouse-Purpan (CPTP)<sup>2</sup>, vient de démontrer chez la souris et le très jeune enfant que certains de ces lymphocytes Treg actifs font ensuite le chemin inverse : ils retournent au thymus. Un résultat inattendu publié dans la revue *Nature Immunology*, obtenu grâce à la collaboration d'Ellen Robey,

immunologue de renom basée à l'université de Berkeley aux États-Unis, experte en microscopie confocale. « L'analyse des images issues de cette technologie est très complexe » explique Joost Van Meerwijk. Grâce à Ellen Robey, nous avons mis en évidence que les Treg reviennent exactement dans les mêmes compartiments du thymus que ceux où ils se sont formés. »

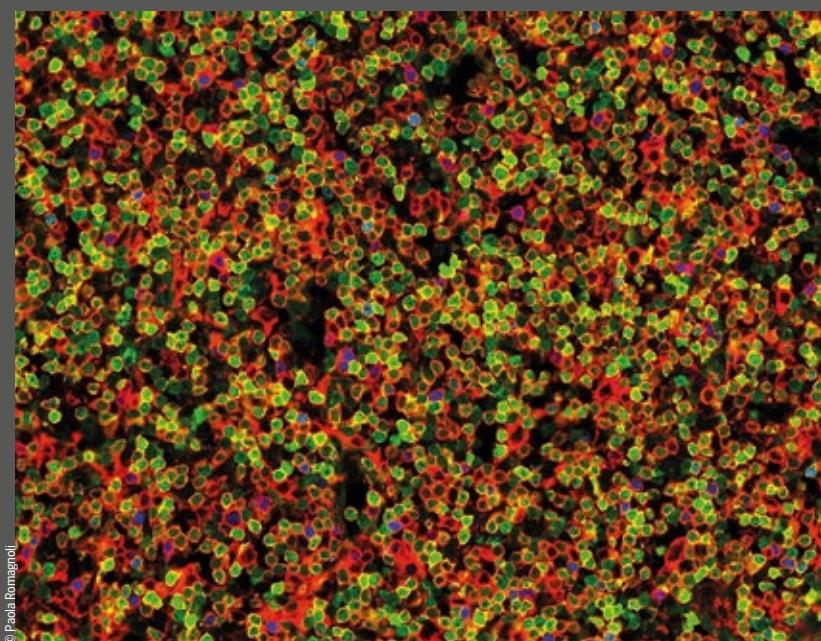
Pourquoi ce retour aux sources ? « Pour y réduire la production de leurs propres précurseurs, et donc s'autoréguler, précise Paola Romagnoli, qui a mené l'étude au CPTP. Mais nous suspectons aussi ces Treg « recirculants » d'agir sur l'ensemble des lymphocytes T tout juste produits dans le thymus en modifiant leur aptitude à reconnaître spécifiquement les propres cellules du patient. C'est ce que nous essaierons de tirer au clair dans la suite de l'étude. »

La compréhension de ces mécanismes de contrôle entre lymphocytes devrait à terme ouvrir de nouvelles voies de traitement contre les maladies auto-immunes, en agissant sur ces gardiens du système immunitaire en périphérie, plutôt qu'en cherchant à les atteindre dans le thymus, que ce soit en les activant ou en les inhibant selon les pathologies. « Mais il nous reste à éclaircir de nombreuses interactions avant d'en arriver là ! » conclut l'immunologue. AL.

◀ Coupe de thymus de souris observée par microscopie confocale. Les lymphocytes Treg en développement apparaissent en bleu clair et ceux qui recirculent en bleu foncé.



*Peripheral regulatory T lymphocytes recirculating to the thymus suppress the development of their precursors*, N.Thiault, J. Darrigues, V. Adoue, M. Gros, B. Binet, C. Perals, B. Leobon, N. Fazilleau, O.P. Joffre, E.A. Robey, J.P.M. Van Meerwijk & P. Romagnoli. *Nature Immunology*: DOI 10.1038/ni.3150



© Paola Romagnoli

## Proust à tous les temps

Isabelle Serça, spécialiste du style au laboratoire Patrimoine, Littérature, Histoire<sup>1</sup>, lance un projet de réflexion transdisciplinaire sur la notion de temps qui s'appuie sur l'œuvre de Marcel Proust.



► Isabelle Serça s'est déjà penchée sur les liens entre temps et écriture dans son livre « *Esthétique de la ponctuation - écrire le temps* », publié chez Gallimard dans la collection « Blanche » en 2012.

### Explorateur : Pourquoi ce projet « ProusTime : Penser le temps avec Marcel Proust » ?

**Isabelle Serça :** Tout le monde fait référence au temps mais personne n'arrive à en donner une définition précise. Je voulais donc confronter les visions du temps dans des disciplines très éloignées, en partant de notions que je puise dans *À la recherche du temps perdu* comme « anachronisme » ou « linéarité » par exemple. C'est pourquoi le groupe ProusTime réunit des historiens, linguistes, psychologues, mathématiciens, physiciens, astrophysiciens, spécialistes de neurosciences, économistes et d'autres.

### E : Que peut apporter cette recherche ?

**IS :** ProusTime va créer une synergie entre des chercheurs qui ne se rencontrent pas d'ordinaire. Il va aussi mettre l'accent sur le caractère précurseur de la littérature, comme en témoigne la description du fonctionnement de la mémoire par Proust, à laquelle font référence des expressions des neurosciences telles que « *Proust phenomenon* » ou « *the Proustian hypothesis* » pour parler du phénomène de réminiscence – celui provoqué, par exemple, par la célèbre madeleine !

### E : Que peut apporter cette recherche ?

**IS :** Nous fonctionnerons par séminaires. En juin, nous avons déjà travaillé sur deux notions : interpolation<sup>2</sup> et anachronisme. L'objectif est de publier une sorte de lexique sur le temps, dont les « entrées » seront écrites par des chercheurs de disciplines différentes. Propos recueillis par CP.

## Pourquoi

### N'Y A-T-IL PAS PLUS DE LIONS DANS LA SAVANE ?

Jusqu'à présent, les écologues considéraient que les écosystèmes étaient gouvernés par une loi assez simple : plus il y avait de proies disponibles, plus il y avait de prédateurs pour les dévorer. Mais une nouvelle étude franco-canadienne vient ébranler cette théorie. Sous la direction de Michel Loreau, du Centre de théorie et de modélisation de la biodiversité de la station d'écologie expérimentale de Moulis<sup>3</sup> en Ariège (lire p.17), le biologiste Ian Hatton, de l'université McGill (Canada), a étudié une base de données de plus de 2 000 communautés de grands mammifères, d'invertébrés, de plantes et d'organismes planctoniques vivant dans des espaces protégés de la planète. « Quel que soit l'écosystème analysé, nous constatons que le nombre des prédateurs progresse toujours moins vite que celui des proies, souligne Michel Loreau. Et curieusement, le ratio prédateurs-proies est toujours gouverné par la même loi mathématique<sup>4</sup>. » Une loi qui pourrait être prise en compte dans le cadre des politiques de conservation des espèces. « Elle permettra de réaliser des prédictions quantitatives sur les populations de prédateurs et de repérer d'éventuels dysfonctionnements d'un écosystème » explique en effet Michel Loreau. CL.



« The predator-prey power law: Biomass scaling across terrestrial and aquatic biomes », I.A. Hatton, K.S. McCann, J.M. Fryxell, T.J. Davies, M. Smerlak, A.R. Sinclair, M. Loreau, *Science*, 4 septembre 2015.

## Jupiters

### CHAUDS ET PRESSÉS

Il y a vingt ans, les Suisses Michel Mayor et Didier Queloz découvraient la première exoplanète, une géante de la taille de Jupiter mais qui gravite très près de son étoile au point d'en sentir l'halo brûlante. Des centaines de ces « jupiters chauds » ont depuis été détectés. Mais quand se sont-ils rapprochés de leur étoile ? Dès leur naissance, ou beaucoup plus tard ? On l'ignorait jusqu'à ce qu'une équipe dirigée par Jean-François Donati, de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP)<sup>5</sup>, détecte une de ces planètes dans une « pouponnière » de jeunes étoiles de notre Voie lactée. C'est donc la preuve que ces jupiters chauds peuvent se former très précocement. JFH.

1. Patrimoine, Littérature, Histoire – PLH – Université Toulouse – Jean Jaurès. • 2. En littérature : action d'introduire dans un texte un élément qui n'était pas dans l'original. En statistique : action de déterminer, à partir d'une série de valeurs trop espacées, de nouvelles valeurs intermédiaires pour lesquelles aucune mesure n'a été effectuée. • 3. Station d'écologie expérimentale de Moulis – SEEM – Rattachée depuis ses origines au CNRS, et partenaire du labex Tulip, Moulis deviendra une UMS et UMR avec l'Université Toulouse III – Paul Sabatier. Le MNHN est également une de ses tutelles

• 4. Une loi de puissance de type biomasse des prédateurs = (biomasse des proies)<sup>¾</sup>. • 5. L'institut de recherche en astrophysique et planétologie – IRAP/OMP – Université Toulouse III – Paul Sabatier, CNRS.

# Des cellules souches

## POUR RESTAURER LA MÉMOIRE

Durant toute notre vie d'adulte, le cerveau continue à fabriquer des neurones à partir de cellules souches. Chez les malades d'Alzheimer, cette fabrication est très diminuée, notamment dans l'hippocampe, une région du cerveau impliquée dans la mémoire. Comment la restaurer ? Kevin Richetin et Claire Rampon, du Centre de recherches sur la cognition animale (CRCA)<sup>1</sup>, ont utilisé des souris modèles atteintes d'Alzheimer. Ils ont introduit dans leur hippocampe

des cellules souches modifiées génétiquement afin de fabriquer exclusivement des neurones impliqués dans la mémoire. Les souris ainsi traitées ont été soumises à un test dans lequel elles doivent détecter qu'un objet a été déplacé. Elles se sont montrées aussi performantes que des souris témoins non malades. Il est donc possible, en manipulant des cellules souches du cerveau, de restaurer des fonctions cognitives, ce qui pourrait un jour conduire à des applications thérapeutiques. JFH.



# Index

## CHERCHEURS ET ÉTUDIANTS DANS LA GUEULE-DE-LOUP



Confrontées au changement climatique, à la pollution ou aux aménagements humains, les espèces animales et végétales s'adaptent. Mais quel rôle joue leur dispersion géographique dans cette adaptation ? Une question encore peu explorée sous l'angle de la génétique quantitative, qui a valu à Benoît Pujol, du laboratoire Évolution et diversité biologique<sup>2</sup>, un financement Index en catégorie « Émergence » d'avril 2015 jusqu'à fin 2016 pour son projet CAPS (Capacité d'Adaptation en Populations Sauvages). Avec l'aide d'étudiants de licence qui effectuent des relevés sur le terrain, son équipe étudie une plante à fleur bien connue, la gueule-de-loup. Poussée au milieu d'un buisson, elle s'allonge pour recevoir la lumière et attirer les insectes pollinisateurs. Sur un rocher, soumise au vent violent, sa forme diffère. « S'agit-il d'une réponse plastique, se produisant pendant la vie d'un individu, ou génétique, par sélection naturelle d'une génération à l'autre ? Y a-t-il transmission non génétique de ces caractères ? C'est ce que nous voulons établir », explique le chercheur. JFH.

©Benoît Pujol

# CubeSats

## DES SATELLITES D'ÉTUDIANTS BIENTÔT DANS L'ESPACE



▲ Un CubeSat au montage : sa taille n'excède pas 10 cm.

Les satellites envoyés en orbite dite « basse » (jusqu'à 2 000 km d'altitude) ont vocation à retomber sur Terre en fin de vie. Toutefois, les connaissances sur leur rentrée dans l'atmosphère sont lacunaires. La mission EntrySat doit y remédier. Sa particularité ? Il s'agit d'un projet étudiant mené par l'ISAE en partenariat avec l'Université Toulouse III – Paul Sabatier, le CNES et l'ONERA. « Le projet répond à un double objectif académique et scientifique » explique David Mimoun, enseignant-chercheur en systèmes spatiaux à l'ISAE. EntrySat est en effet basée sur des « CubeSats » qui sont conçus et construits par les étudiants. Un CubeSat est un microsatellite de forme standardisée de 10 x 10 x 10 cm utilisant des composants plutôt courants, donc peu onéreux. Outre l'aspect pédagogique, la mission qui sera composée de trois CubeSats, lancés fin 2016 au sein de la constellation de satellites « QB50 », communiquera en temps réel des informations sur sa position, les températures et la pression tout au long de sa rentrée dans l'atmosphère. Les résultats seront analysés par l'ONERA et par les étudiants en parallèle. Selon David Mimoun, « c'est la première véritable mission étudiante sur Toulouse. Elle pourrait préfigurer un futur centre spatial universitaire à Toulouse impliquant différents laboratoires et une synergie entre enseignement, recherche et industrie spatiale ». PN.



## ESOF 2018

Béatrice Chatel, ambassadrice scientifique  
**« Préparez-vous à postuler au label ESOF - Toulouse Cité européenne de la science ! »**

**Exploreur : Toulouse a décroché en décembre dernier l'organisation de l'EuroScience Open Forum (ESOF) en 2018. Quelles sont les premières mesures du dispositif d'organisation ?**

**Béatrice Chatel :** Nous mettons en place un label « Toulouse Cité européenne de la science », qui sera effectif en 2017. Nous invitons dès maintenant tous les directeurs de laboratoires à nous communiquer leurs annonces de manifestations scientifiques à dimension européenne – congrès, colloques... – pour 2017-2018. Elles pourront bénéficier du label, à l'issue d'un processus de sélection très simple. Les critères prendront en compte le type de manifestation, la dimension européenne et le contenu scientifique et sociétal.

**E : Qu'apportera ce label « Toulouse Cité européenne de la science » ?**

**BC :** Un certain nombre de services, notamment le fait d'intégrer les manifestations labellisées dans le dispositif de communication d'ESOF 2018. Un soutien des collectivités territoriales est en cours de réflexion, afin de faciliter l'ancrage de ces manifestations dans la dynamique autour d'ESOF.

**E : Le prochain ESOF se déroule à Manchester (Royaume-Uni) en juillet 2016. Les scientifiques toulousains vont-ils y participer ?**

**BC :** Oui, un grand nombre de propositions ont été faites et le comité de sélection européen est en train de les étudier. La délégation française fournira un retour d'expérience très utile pour préparer 2018. Nous invitons aussi chaque laboratoire à envoyer un doctorant à Manchester. Un axe entier du forum porte sur les carrières liées aux sciences et un salon de l'emploi est organisé, c'est l'occasion de se créer des opportunités. Nous réfléchissons à un système de bourse pour aider à financer leur déplacement. Propos recueillis par JFH.

©DR

## Le mythe de l'égalité

### DÉJÀ LÀ

Chez les enseignants du second degré, le fait que les femmes sont relativement surreprésentées, et pour la plupart fonctionnaires, laisse souvent penser que les inégalités de genre seraient moindres, voire absentes. Julie Jarty, membre de l'équipe Sagesse au Centre d'étude et de recherche Travail Organisation Pouvoir (CERTOP)<sup>3</sup>, démontre pourtant l'existence d'un « mythe de l'égalité déjà là ». Elle a mené en 2012 et 2013 une étude approfondie dans les établissements scolaires de Paris, Lyon et Toulouse, avec Dominique Cau-Bareille, ergonome à l'Université Lumière Lyon 2. Il en ressort paradoxalement que la souplesse temporelle du travail enseignant (mercredis libérés notamment) incite davantage les femmes à prendre en charge l'éducation de leurs enfants. « En matière d'évolution des carrières, on retrouve un phénomène d'autocensure des femmes qui hésitent à s'engager dans l'agrégation, par exemple, pour les mêmes raisons familiales, ajoute Julie Jarty. Elles sont aussi moins repérées par l'institution éducative quand il s'agit de pourvoir des postes à responsabilité. » Les travaux, parus sous forme d'un rapport<sup>4</sup> fin 2014, seront notamment présentés au colloque Femmes & Sciences le 13 novembre (lire encadré). JFH.



### COLLOQUE FEMMES & SCIENCES



Toulouse accueille, le vendredi 13 novembre le colloque annuel de l'association Femmes & Sciences, qui se consacre au plan national à la promotion des sciences et techniques auprès des femmes. Le thème : « Choisir et vivre une carrière scientifique ou technique au féminin : pourquoi, comment ? » fera l'objet de conférences, tables rondes et témoignages de chercheuses et ingénieries. [www.femmesetsciences.fr](http://www.femmesetsciences.fr)







# DOSSIER



# *Le défi climatique*

Comprendre,  
lutter, s'adapter

PAR JEAN-FRANÇOIS HAÏT

« Contenir, d'ici à 2100, le réchauffement climatique à deux degrés de plus qu'au milieu du xix<sup>e</sup> siècle, est un objectif politique ambitieux étayé par des données scientifiques. » C'est ainsi que Serge Planton, climatologue au Centre national de recherches météorologiques<sup>1</sup> à Toulouse et membre du GIEC<sup>2</sup>, résume l'enjeu de la COP21, la conférence mondiale sur le climat qui se tiendra à Paris du 30 novembre au 11 décembre. Pour négocier, il aura d'abord fallu comprendre le phénomène. Les chercheurs toulousains s'y sont attachés depuis longtemps. Dans l'Arctique, où tout se passe en accéléré... ou dans l'Ariège, en étudiant les espèces animales et végétales. Grâce aux modèles climatiques – celui produit à Toulouse est reconnu au plan mondial – et aux mesures par satellite, véritable spécialité régionale. Mais comment lutter et atteindre les objectifs de la conférence de Paris ? Peut-être en mettant en place un marché des émissions de CO<sub>2</sub> qui serait réellement incitatif. Enfin, climatologues, géographes et architectes s'allient pour adapter les villes aux canicules et autres événements extrêmes.

Arctique : un laboratoire du climat .....	<b>14</b>	L'altimétrie spatiale révèle la montée des océans .....	<b>19</b>
L'impact du réchauffement sur les espèces se confirme .....	<b>16</b>	Économie : sauver le climat, à quel prix ? .....	<b>20</b>
Modèles climatiques de plus en plus précis et fiables .....	<b>18</b>	Ça chauffe en ville ! .....	<b>22</b>

◀ Étienne Berthier de l'équipe Cryosphère satellitaire du LEGOS suit l'évolution des glaces continentales dans l'Arctique, dont les pertes annuelles dues au réchauffement climatique se comptent en centaines de milliards de tonnes.

1. Centre national de recherches météorologiques - CRNM - CNRS, Météo-France.  
2. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

# Arctique

## Un laboratoire du climat

Pour prévoir les conséquences du changement climatique sur toute la planète, les chercheurs les étudient dans les hautes latitudes. C'est là, en effet, qu'elles se manifestent avec le plus d'ampleur.

PAR ANNE DEBROISE

**“** Ces dernières années, nous avons vu l'Arctique changer de manière spectaculaire, témoigne Elena Zakhrova, chercheuse au Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS)<sup>1</sup>. En

trente ans, la surface de la banquise a été divisée par deux. » L'Arctique se réchauffe en effet deux fois plus vite que le reste de la planète. La violence des conséquences de ce réchauffement en fait un objet d'étude exemplaire pour tous ceux qui s'intéressent aux conséquences du changement climatique.

En 2008, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a invité la recherche française à rassembler ses forces autour d'un « Chantier arctique ». Armée de son expertise sur les questions climatiques et de son accès privilégié à l'observation par satellite, la recherche toulousaine s'est structurée afin de répondre aux appels d'offres de ce dispositif. C'est ainsi que l'Observatoire Midi-Pyrénées a lancé, en 2015, l'Action scientifique transverse « Arctique : variabilité, interactions et rétroactions », dirigée par Elena Zakhrova et Alexei Kouraev, du LEGOS. Objectif : fédérer pendant les cinq prochaines années les projets de recherche mêlant différentes disciplines, de la géochimie à la médecine en passant par l'anthropologie et la climatologie<sup>2</sup>. En particulier, le projet « InHERA » (Interactions homme-environnement dans les régions arctiques), est financé dans le cadre du programme Transversalité de l'Initiative d'excellence (Idex) de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées.



©Arnaud Mansat - arnaud-mansat.fr

Au cœur de ces recherches figurent les observations de l'équipe Cryosphère satellitaire dont fait partie Étienne Berthier, au Legos : « Nous utilisons les images des satellites *Spot* ou *Pléiades* pour évaluer l'évolution des glaces continentales, notamment celles qui recouvrent le Groenland, le Spitzberg, l'Alaska, le nord du Canada et de la Sibérie. » La comparaison des cartes topographiques dressées à partir d'images prises à quelques années d'intervalle leur permet de calculer la perte de masse des glaciers. « Entre 2003 et 2009, l'Arctique a ainsi perdu 177 milliards de tonnes de glace par an » souligne-il. L'Arctique représente les deux tiers de la fonte des glaciers de la planète, elle-même responsable d'un tiers de la hausse du niveau moyen de la mer. Ces données, fondamentales, sont mises à disposition de la communauté scientifique et ont notamment servi à la rédaction du dernier rapport du GIEC<sup>3</sup>.

À la fonte des glaces continentales s'ajoute celle du pergélisol, le sol gelé toute l'année mais que le réchauffement de surface amène à fondre. L'eau

### CULTURE SCIENTIFIQUE

## Vodavos

### PORTEUR D'EAU EN SIBÉRIE



Les travaux de Roman Teisserenc et de ses collègues du laboratoire Ecolab<sup>4</sup> sur les crues des fleuves arctiques et la fonte du pergélisol, menés dans le cadre du projet TOMCAR-Permafrost, ont fait l'objet du documentaire *Vodavos - Porteur d'eau en Sibérie* réalisé par Arnaud Mansat. Il peut être visionné à l'adresse <http://bit.ly/1Nglgvd>





► **Échantillonnage de l'eau et de la glace du fleuve lenisseï à Igarka (Sibérie) dans le cadre du projet TOMCAR-Permafrost. Le but est de caractériser les flux de carbone d'origine terrestre.**

issue de la fonte draine de nombreux éléments chimiques (carbone, métaux lourds, etc) vers l'océan. Roman Teisserenc, professeur à l'INP-ENSAT, de l'équipe Biogéochimie et Transfert aux interfaces du Laboratoire d'éco-ologie fonctionnelle et environnement (EcoLab)<sup>4</sup>, suit depuis avril 2014 les flux de matière organique dans le plus grand fleuve arctique, l'énisseï, dans le cadre du projet TOMCAR-Permafrost<sup>5</sup> : « Nos premières constatations révèlent que les quantités de carbone exporté vers l'océan sont beaucoup plus importantes que ce que l'on pensait, particulièrement au moment de la crue de printemps. À cette période, il s'agit en plus de matière peu dégradée, qui a donc encore du potentiel

pour se décomposer et donc produire du CO<sub>2</sub> qui pourrait s'ajouter à celui émis par les activités humaines et accentuer le réchauffement. » Une fois intégrées dans les modèles globaux du carbone, ces nouvelles données permettront de mieux appréhender le cycle du carbone et son rôle dans le changement climatique.

L'effet exacerbé de ce dernier dans l'Arctique pourrait-il aussi favoriser la propagation de certaines maladies infectieuses ? C'est une des questions que s'est posées Jean-François Magnaval, médecin, parasitologue et membre du laboratoire AMIS (Anthropologie moléculaire et imagerie de synthèse)<sup>6</sup>. En 2012, son équipe a réalisé, avec des collègues yakoutes, une enquête épidémiologique auprès d'habitants de deux villages de la région de Verkhoïansk, située au-delà du cercle polaire et réputée la plus froide du monde : « Nous avons été

## CES NOUVELLES DONNÉES PERMETTRONT DE MIEUX APPRÉHENDER LE CYCLE DU CARBONE

surpris de trouver, dans les échantillons sanguins, des anticorps qui témoignent qu'une proportion notable des habitants a été infectée par des zoonoses que l'on pensait restreintes à des zones plus chaudes, comme la maladie de Lyme qui est transmise par les tiques. » L'élévation des températures d'été pourrait étendre encore l'aire de ce type de maladies.

## Poisson au mercure

Dans l'Arctique, le réchauffement climatique a un effet inattendu : l'accentuation de la pollution au mercure. Bien que très éloignée des zones industrielles ou minières, la faune de la région exhibe les taux de contamination par cet élément les plus élevés de la planète. Jeroen Sonke, au laboratoire Géosciences environnement Toulouse<sup>7</sup>, s'est penché sur ce paradoxe grâce à un financement du Conseil européen de la recherche (ERC).

« Le mercure est émis sous forme de gaz par les industries. Après environ six mois dans l'atmosphère, il se dépose dans les océans où il est transformé par les bactéries en méthylmercure, capable de contaminer la chaîne alimentaire » souligne Jeroen Sonke. Ses prélevements dans l'océan Arctique indiquent que la transformation en méthylmercure a lieu vers 20 mètres dans l'Arctique, alors qu'elle se produit entre 400 et 1 000 mètres ailleurs. La raison ? « À cause de la stratification des eaux due à la température, les microbes qui assimilent le mercure pour le transformer en méthylmercure sont confinés dans la couche supérieure des eaux arctiques » explique le chercheur. À cette profondeur, la vie abonde et le méthylmercure s'accumule donc dans la chaîne alimentaire. Un tel mécanisme pourrait s'accentuer avec la fonte massive des glaciers, qui va renforcer la stratification des eaux arctiques.

# L'impact du réchauffement sur les espèces se confirme

Les chercheurs de la Station d'écologie expérimentale de Moulis (Ariège) démontrent qu'en réponse à des températures plus élevées, les espèces animales étudiées se développent plus vite, mais leur survie diminue à l'âge adulte.

PAR JEAN-FRANÇOIS HAÏT

**D**errière une zone industrielle banale à l'entrée de Saint-Girons (Ariège) se cache un instrument scientifique unique au monde : le Métatron<sup>1</sup>. Sur une prairie, dont une partie est une zone humide, sont

posées 48 cages connectées par des corridors d'environ 20 mètres de long. Vu du ciel, l'ensemble figure un circuit électronique géant. C'est l'équipement phare de la Station d'écologie expérimentale de Moulis<sup>2</sup>, implantée à une quinzaine de kilomètres dans le village du même nom.

« Dans chaque cage, on peut modifier la température et la lumière grâce à un système d'ombrage, ou encore contrôler l'humidité par arrosage » explique Olivier Guillaume, ingénieur de recherche responsable des infrastructures. Les chercheurs de Moulis y lâchent lézards, crapauds, tritons, papillons ou libellules, et observent leurs déplacements, selon les conditions auxquelles ces animaux sont confrontés. Ils étudient en particulier les effets causés par l'homme : la fragmentation des habitats naturels, et le changement climatique, devenu une thématique forte de Moulis.

« Aujourd'hui, nous publions<sup>3</sup> les premiers résultats d'envergure depuis que le Métatron est devenu réellement opérationnel, en 2012 » se félicite Jean Clobert, le directeur de la Station.



© Elvire Bestion

▲ **Les 48 cages interconnectées du Métatron permettent de soumettre les espèces vivantes à des variations de température, de lumière et d'humidité et d'étudier leurs mouvements en réponse à ces changements environnementaux.**

Julien Cote, chercheur au laboratoire Évolution et diversité biologique<sup>4</sup>, et sa doctorante Elvire Bestion ont reproduit dans les cages les conditions de température que l'on rencontrera dans 50 ou 60 ans, soit deux degrés de plus qu'aujourd'hui. Des populations de lézards y ont été soumises. « On observe que leur croissance est plus grande, leur développement plus rapide et leur reproduction plus précoce. Mais la survie à l'âge adulte baisse de 20 % par rapport à celle des individus qui n'ont pas été soumis à une élévation de température. Le réchauffement induit donc une accélération du rythme de vie. La consé-

## Simuler

### LES MARES ET LES RIVIÈRES

Pour mieux étudier l'impact des changements de l'environnement sur les espèces, Moulis va bénéficier de moyens supplémentaires sous forme d'une dotation de 5,5 millions d'euros dans le cadre du deuxième Contrat de plan État-Région. En projet notamment : étudier les écosystèmes aquatiques grâce à un « Métatron aquatique » qui sera composé de 95 bassins communicants pour reproduire un réseau de mares, ainsi qu'un système simulant sur 100 mètres le cours d'une rivière. L'« hydroécologie » va en outre bénéficier d'un nouveau bâtiment, qui accueillera trois nouvelles équipes représentant jusqu'à 45 personnes supplémentaires.

1. Métatron : de « méta » = réseau (de populations et d'écosystèmes) et « tron » = suffixe générique pour désigner un système expérimental.

2. Station d'écologie expérimentale de Moulis – SEEM – Rattachée depuis ses origines au CNRS, et partenaire du Labex Tulip, Moulis deviendra une unité mixte de service et de recherche avec l'Université Toulouse III – Paul Sabatier à compter de janvier 2016. Le MNHN est également une de ses tutelles.



quence, pour la population étudiée, c'est une possible extinction en dix à vingt ans » explique Julien Cote. Sombre perspective... Certes, l'extinction d'une population animale ne signifie pas celle de l'espèce, dont la zone de distribution peut être très large. Mais les résultats obtenus mettent en évidence le risque majeur d'extinctions à l'échelle de régions. C'est pourquoi les scientifiques de Moulis mènent aussi des observations sur le terrain. Ils suivent notamment une population de lézards des Cévennes depuis 26 ans. « Sur ces animaux, nous observons, comme dans le Métatron, une taille plus importante et un nombre d'œufs plus grand. Nous n'avons pas encore d'éléments concernant la survie à l'âge adulte » explique Jean Clobert.

## NOUS DÉVELOPPIONS DES MODÈLES MATHÉMATIQUES POUR PRÉDIRE LA STABILITÉ DES ÉCOSYSTÈMES

Le changement climatique induit d'autres modifications. Sur le site de Moulis, on élève en cage des femelles de lézards vivipares. En pénétrant dans le local, la chaleur et l'humidité règnent et on entend le chant des grillons qui servent de repas aux lézards. « Nous avons constaté des

variations de couleur chez ces animaux. C'est pourquoi nous étudions l'adaptation au changement climatique en mesurant notamment le degré de mélanism<sup>5</sup> : les lézards s'éclaircissent-ils pour absorber moins de chaleur, ou deviennent-ils plus foncés

afin d'être davantage protégés des ultraviolets ? Nous n'avons pas encore la réponse » souligne Julien Cote. Autre constat : celui d'une « préférence thermique » : lorsque

les femelles sont soumises expérimentalement à des températures plus élevées que la normale, leur progéniture affiche une préférence pour des températures plus basses. Le réchauffement climatique aurait donc des effets sur la descendance. Julien Cote s'intéresse aussi au microbiote des lézards, c'est-à-dire à la flore microbienne de leur système digestif. Avec Elvire Bestion, il a montré qu'avec des températures plus élevées, la diversité en bactéries baisse de près de 20 %. Or, que ce soit chez le lézard ou chez l'homme, le microbiote joue un rôle fondamental dans la digestion, donc sur la santé des individus. Son appauvrissement peut donc avoir des conséquences sur les populations.

Mais étudier les espèces à l'échelle de l'individu ou de la population ne suffit pas. Il faut aussi comprendre les phénomènes à l'échelle de l'écosystème. À Moulis, c'est l'objectif du Centre de théorie et modélisation de la biodiversité dirigé par Michel Loreau. « Nous développons des modèles mathématiques pour prédire la stabilité des écosystèmes, notamment face au changement climatique, explique-t-il. Ces modèles montrent que les écosystèmes riches en espèces s'en sortent mieux à court terme. Les espèces survivantes peuvent s'équilibrer quelque temps. Mais cela ne peut durer. » Des travaux publiés par l'équipe ont montré que le changement climatique pourrait par exemple « désynchroniser » une plante et son insecte pollinisateur : tous deux sont actifs plus précocément, mais pas à la même vitesse. Avec, à terme, la possibilité d'une disparition du système.

Aujourd'hui, Michel Loreau souhaite aller plus loin et intégrer l'être humain dans les modèles, pour étudier sur le long terme la stabilité de notre mode de développement actuel.



Michel Loreau vient d'obtenir une bourse *advanced grant* du Conseil européen de la recherche (ERC). Son projet, « Biostases », vise à mieux prédire les changements environnementaux et la stabilité des écosystèmes, et à intégrer une dimension sociale dans les modèles d'écosystèmes.

3. « *Live fast, die young: experimental evidence of population extinction risk due to climate change* », par E. Bestion, A. Teyssier, M. Richard, J. Clobert et J. Cote, *Plos Biology*, sous presse. • 4. Évolution et diversité biologique – EDB – Université Toulouse III – Paul Sabatier, CNRS, ENFA. Ce laboratoire est membre du Labex Tulip. • 5. Coloration noire de la peau, des plumes ou des poils due à un pigment, la mélanine.

# Modèles climatiques de plus en plus précis et fiables

Les modèles posent le diagnostic du changement climatique. Peut-on leur faire confiance ? Réponses avec Olivier Thual, professeur à l'INP-ENSEEIHT, du Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique (Cerfacs)<sup>1</sup>.

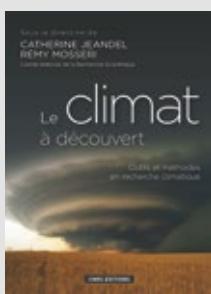


CULTURE  
SCIENTIFIQUE

## LE CLIMAT À DÉCOUVERT

Coordinné par les chercheurs Catherine Jeandel (LEGOS, Toulouse) et Rémi Mossery (LPTMC, Paris), cet ouvrage propose un très large panorama de la recherche sur le climat. Pas moins de 120 chercheurs de disciplines très variées (physique, biologie, géologie, mathématiques...) expliquent leurs méthodes de travail. Un outil précieux pour comprendre comment sont produits les résultats scientifiques liés au climat, qui peuvent être déformés ou mal interprétés dans les débats publics.

*Le Climat à découvert - outils et méthodes en recherche climatique*, Rémy Mossery, Catherine Jeandel, CNRS éditions, 2011.



## PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE DEBROISE

### Exploreur : Qu'est-ce qu'un modèle?

**Olivier Thual** : C'est un ensemble d'équations mathématiques qui vont être résolues par un ordinateur. Les modèles climatiques simulent l'évolution de toutes les composantes du système climatique : atmosphère, océans, glaces et surfaces continentales. Ils intègrent des paramètres nombreux, comme la topographie de la Terre, les équations physiques issues de la mécanique des fluides, l'apport d'énergie par le soleil mais aussi les gaz à effet de serre, le cycle de l'eau, etc. L'évolution des gaz à effet de serre dans le futur est déduite des scénarios probables de croissance économique que nous fournissent les économistes.

### E : Quelle confiance leur accorder ?

**OT** : Pour évaluer les modèles, nous procédons à plusieurs types d'exercices. On peut leur fournir des données récentes décrivant les fluctuations du rayonnement solaire ou des gaz à effet de serre et voir s'ils reproduisent bien les tendances actuelles du climat. On peut aussi tester leur capacité à prédire l'apparition d'événements climatiques comme El Niño (perturbation du climat liée à des modifications



des courants marins dans le Pacifique), ou l'évolution des oscillations climatiques à l'échelle de la décennie. On peut encore simuler le refroidissement induit par les éruptions volcaniques, quand elles injectent des cendres dans l'atmosphère. Il y a 25 ans, les modèles étaient incapables de faire tout cela. Aujourd'hui, nous sommes confiants dans la capacité de ces modèles à anticiper l'évolution du climat sur le siècle qui vient, car ils reproduisent les processus physiques observés aujourd'hui avec de bonnes performances.

### E : Combien de modèles sont utilisés dans le monde ?

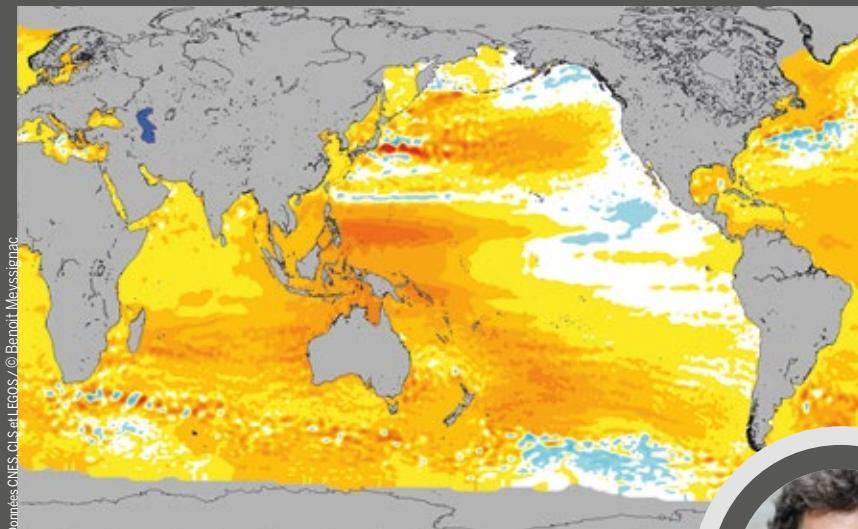
**OT** : Il en existe de nombreux, mais seulement une vingtaine de groupes travaillent sur des modèles dont les simulations sont prises en compte dans les rapports du GIEC<sup>2</sup>. Parmi eux, deux sont français : le modèle de l'IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace, à Paris), et celui du Centre national de la recherche en météorologie (CNRM) à Toulouse. Le CNRM-GAME<sup>3</sup> et le Cerfacs travaillent sur la sixième version du modèle toulousain (CNRM-CM6), qui sera utilisée à partir de 2016 pour alimenter le prochain rapport du GIEC.

### E : Quelles sont les améliorations attendues ?

**OT** : La performance des modèles, c'est-à-dire leur capacité à rendre compte du changement climatique observé avec une bonne résolution temporelle et spatiale, augmente avec la capacité des ordinateurs. Notre rôle, au Cerfacs, consiste à explorer les capacités des nouvelles machines, à faire tourner les modèles à des résolutions spatiales et temporelles plus fines pour optimiser leur fonctionnement. Faire tourner un code sur des milliers de processeurs, gérer les échanges de données entre les diverses composantes du modèle (atmosphère, océan, etc.), ce n'est pas évident. Le prochain modèle (CNRM-CM6) va simuler l'atmosphère avec des résolutions allant de 150 à 50 kilomètres (contre 200 aujourd'hui). Ces résolutions permettent de prendre en compte des phénomènes à plus petite échelle comme les cyclones tropicaux.

# L'altimétrie spatiale révèle la montée des océans

Le satellite devient un témoin précieux du changement climatique. Explications avec Benoit Meyssignac, ingénieur au CNES et chercheur au Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS)<sup>1</sup>.



PROPOS RECUEILLIS  
PAR JEAN-FRANÇOIS HAÏT

## Exploreur : Pourquoi mesurer la hauteur des océans pour étudier le climat ?

**Benoit Meyssignac :** Parce que le niveau des océans est un très bon indicateur du changement climatique. La hausse des températures a deux effets : elle fait d'une part se dilater l'océan, d'autre part fondre les glaciers continentaux et les calottes polaires dont l'eau rejoint finalement la mer. Résultat : le niveau monte. Grâce aux satellites d'altimétrie, on mesure aujourd'hui cette hausse avec une précision inférieure au centimètre. *Topex-Poseidon*

▲ **Carte d'augmentation du niveau de la mer en mm/an sur la période 1993-2014 observée par les satellites altimétriques *Topex-Poseidon*, *Jason 1-2*, *Envisat*, *Geosat*, *GFO*, *ERS1-2*, *Saral*, *Cryosat-2*. En rouge foncé : +14 mm ; jaune clair : pas d'élévation ; bleu foncé : -14 mm.**

en 1992, puis *Jason 1* et *Jason 2* tous issus d'une collaboration entre le CNES et la Nasa, nous fournissent sans discontinuer des données homogènes depuis plus de vingt ans, ce qui est fondamental en climatologie. Nous attendons avec impatience le lancement de *Jason 3* initialement prévu pour août mais reporté suite à l'échec de la fusée *Falcon 9*.



## E : Qu'avez-vous découvert au Legos ?

**BM :** Le résultat important, issu notamment des travaux dirigés par Anny Cazenave<sup>2</sup> sur la base de données d'altimétrie spatiale, est que le niveau des océans monte de 3,3 millimètres par an en moyenne depuis 20 ans. Aujourd'hui, nous disposons de modèles qui permettent de décrire l'expansion de l'océan. On connaît par ailleurs sa variabilité, c'est-à-dire tous les phénomènes naturels qui font que l'océan change. Nous en déduisons que la hausse du niveau observée ne peut s'expliquer que par l'émission des gaz à effet de serre d'origine humaine dans l'atmosphère. Ceux-ci déséquilibrent le bilan énergétique de la Terre, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'énergie fournie par le rayonnement solaire et celle renvoyée par la Terre vers l'espace. Ce sont les océans qui absorbent majoritairement ce déséquilibre en se réchauffant.

## E : Des millions de personnes dans le monde sont menacées par la hausse du niveau des océans. Peut-on la prévoir ?

**BM :** Tout dépend de l'échelle de temps considérée. À 10 ans, la variabilité naturelle des océans domine. Cette variabilité a un caractère aléatoire et chaotique, il est donc très difficile de prévoir où l'eau va monter. En revanche, à 20, 30 ou 100 ans, on voit de plus en plus les effets des émissions anthropiques qui forcent les variations du climat. À 100 ans, nous pouvons faire des projections : le niveau de la mer sera plus haut d'environ 29 centimètres si on stabilise les émissions de gaz à effet de serre à partir de 2030, mais de 90 centimètres ou plus si on ne fait rien, avec un impact très fort sur le littoral !

## E : Comment faire pour améliorer les prévisions ?

**BM :** Il s'agit de voir ces phénomènes de hausse avec une plus grande finesse et au plus près des côtes. Ce sera un des rôles de SWOT, le nouveau satellite du CNES et de la Nasa qui sera lancé en 2020. Il nous permettra aussi, et c'est nouveau, de mesurer la variabilité du stock des eaux continentales, c'est-à-dire les lacs et les rivières, et l'impact que pourrait avoir le changement climatique sur celui-ci.

1. Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales – LEGOS/OMP – Université Toulouse III – Paul Sabatier, CNES, CNRS, IRD.  
2. Anny Cazenave est chercheuse au LEGOS, membre de l'Académie des sciences, membre du GIEC.

# Économie

## Sauver le climat, à quel prix ?

Pour les chercheurs de l'École d'économie de Toulouse, la réduction des émissions de CO2 passe par la création d'un marché mondial du carbone. Mais quel prix donner à la tonne de CO2 et quel coût pour les conséquences du changement climatique ?

PAR ANNE DEBROISE

En 1992, les États signataires du protocole de Kyoto se sont engagés à limiter leurs émissions de gaz à effet de serre. Mais ils n'ont pas tenu leurs engagements. C'est pourquoi nous plaidons pour l'introduction d'outils économiques qui pourraient rendre plus efficace le prochain accord, celui de la COP21 à Paris cet hiver» souligne Christian Gollier membre du GREMAQ<sup>1</sup>, directeur de l'école d'économie de Toulouse (TSE)<sup>2</sup> et membre du GIEC<sup>3</sup>. Celui qui s'est spécialisé dans la prise de décision en contexte d'incertitude attribue l'immobilisme politique actuel au délai qui existe entre les émissions de gaz à effet de serre et leurs conséquences. Or, certains mécanismes économiques permettent justement de faire payer le coût du changement climatique aux générations qui en sont responsables et non pas à leurs descendants.

« Il y a par exemple les taxes carbone à appliquer sur les produits de consommation. Mais elles sont très mal perçues par les populations et ont donc peu de chance de voir le jour... On peut

aussi citer les primes à l'installation d'équipements pour limiter les émissions, comme les panneaux photovoltaïques, mais ce système, s'il se veut réellement incitatif, coûte très cher à l'État. C'est pourquoi, avec plusieurs collègues de TSE, nous avons étudié une troisième solution : un système international de permis d'émission de carbone » explique Christian Gollier.

Un tel système s'impose depuis 2005 aux entreprises européennes émettant de grandes quantités de gaz à effet de serre, comme les producteurs d'électricité ou de ciment. Celles-ci disposent chaque année d'un quota de droits d'émissions. S'ils les épuisent, ils peuvent en acheter à des entreprises plus vertueuses, qui se voient ainsi récompensées de leurs efforts. Le marché européen a cepen-



1. Groupe de recherche en économie mathématique et quantitative – GREMAQ – Université Toulouse 1 Capitole, CNRS, INRA, EHESS

• 2. Toulouse School of Economics – TSE. • 3. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. • 4. Voir C. Gollier, J. Tirole, *Negotiating Effective Institutions Against Climate Change, Economics of Energy and Environmental Policy*, 2015, à paraître.

dant perdu toute efficacité suite à la stagnation économique et à la délocalisation de certaines activités hors d'Europe, qui ont entraîné la chute du prix de la tonne de CO2 (lire encadré chiffres). La solution avancée notamment par Jean Tirole, Prix Nobel d'Économie en 2014, et Christian Gollier consiste à inciter les pays à adhérer à un marché mondial (sous peine de surtaxation à l'importation, supervisée par l'Organisation mondiale du commerce), en fixant un prix suffisamment élevé qui serait soutenu par une gestion stricte des quotas mis en circulation<sup>4</sup>.

## NOUS AVONS ÉTUDIÉ UN SYSTÈME INTERNATIONAL DE PERMIS D'ÉMISSION DE CARBONE

Encore faut-il que ce prix corresponde au dommage généré par les émissions, en accord avec le principe pollueur-payeur. C'est pourquoi, à TSE, une trentaine de chercheurs planchent sur la valeur économique des composantes de l'environnement, qui pour certaines sont directement affectées par le changement climatique. On cherche ainsi à définir des méthodes pour évaluer le coût de la perte de biodiversité, de la désertification, de la diminution des ressources énergétiques, de la déforestation, des effets sanitaires de la pollution de l'atmosphère...

La question des impacts sanitaires est ainsi au cœur du travail de Nicolas Treich, chercheur à l'INRA et responsable du groupe d'économie de l'environnement à TSE : « Le changement climatique a, par exemple, des effets sur la mortalité : les vagues de chaleur tuent, les maladies vectorielles se répandent et la malnutrition risque d'augmenter. Mais aujourd'hui, il faut réfléchir aux efforts que nous sommes prêts à faire pour limiter cette mortalité à venir ». Son travail<sup>5</sup> démontre que l'incertitude pèse sur l'effort que les États et les citoyens sont prêts à consentir : plus le gain attendu est incertain, moins nous serions prêts à investir dans l'avenir. Selon Christian Gollier, l'incertitude serait ainsi la principale cause du peu d'engagements pris par les États lors des précédentes Conférences des parties (COP). C'est pourquoi cette question devait être abordée lors de la conférence organisée le 14 octobre 2015 à Paris par les économistes de TSE conjointement avec la chaire « Climat » de l'université Paris-Dauphine, intitulée : « Voies pour un accord ambitieux et crédible à Paris. »

◀ **Sculpture-installation de l'artiste espagnol Isaac Cordal intitulée : *Suivez les leaders*. Elle a été rebaptisée sur les réseaux sociaux : « Les politiciens discutent du changement climatique ».**



**1 tonne de CO<sub>2</sub>  
équivaut à 8 pleins d'essence**

**17 €**

**Le prix de la tonne de CO<sub>2</sub>  
sur le marché européen en 2001**

**7 €**

**Le prix de la tonne de CO<sub>2</sub>  
sur le marché européen en 2015**

**100 €**

**Le prix de la tonne de CO<sub>2</sub>  
recommandé par le GIEC pour 2030**

**40 €**

**Le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> recommandé  
par Christian Gollier et Jean Tirole**

## Partager l'eau

« Le changement climatique va induire une plus grande variabilité des ressources en eau, avec notamment des périodes de sécheresse plus longues. Il y a donc un risque accru de conflits » prévoit Stefan Ambec, membre du Laboratoire d'économie des ressources naturelles (LERNA)<sup>6</sup> à TSE. À partir de données historiques sur les ressources hydrologiques, il a conçu un traité de partage de l'eau qui serait toujours respecté par les parties. Son étude a porté sur le fleuve Syr-Darya, utilisé par le Kirghizstan, en amont, pour produire de l'électricité notamment pour le chauffage en hiver, et par l'Ouzbékistan et le Kazakhstan en aval, pour l'irrigation l'été. Le meilleur accord consiste à définir, mois par mois, le débit minimal que doit assurer le Kirghizstan, et des compensations (charbon, gaz, pétrole) que les pays en aval doivent lui fournir en période de pénurie. Ce travail<sup>7</sup> pourrait servir de référence dans le cadre de la renégociation des accords de partage de l'eau dans la région.

5. « The value of a statistical life under ambiguity aversion », 2010, *Journal of Environmental Economics and Management*, 59, 15-26.

6. Laboratoire d'économie des ressources naturelles – LERNA – Université Toulouse 1 Capitole, INRA. • 7. S. Ambec, A. Dinar et D. McKinney, «Water sharing agreements sustainable to reduced flows», *Journal of Environmental Economics and Management*, 2013, 66, 639-655.

# Ça chauffe en ville !

Les citadins sont les premiers à souffrir des pics de chaleur estivale. En cause : un phénomène baptisé « îlot de chaleur urbain ». Comment faire face ? Géographes, urbanistes et climatologues s'associent afin d'imaginer des solutions pour rafraîchir les villes.

PAR CARINA LOUART

Les villes sont plus chaudes que leur campagne environnante, et pas de quelques dixièmes de degrés...

« L'écart de température entre les centres-ville et les zones rurales environnantes peut atteindre en France de 2 à 10 °C en été en fonction des caractéristiques de la ville », explique Julia Hidalgo, chercheuse en climatologie urbaine au LISST-CIEU<sup>1</sup>. Plus la surface est artificialisée et la ville peuplée, plus le différentiel de température ville-campagne est élevé ». Exemple : 10 °C à Paris, 7 à 8 °C à Toulouse ou Strasbourg. Avec le réchauffement climatique, les impacts nuisibles de ce phénomène ne feront que se renforcer.

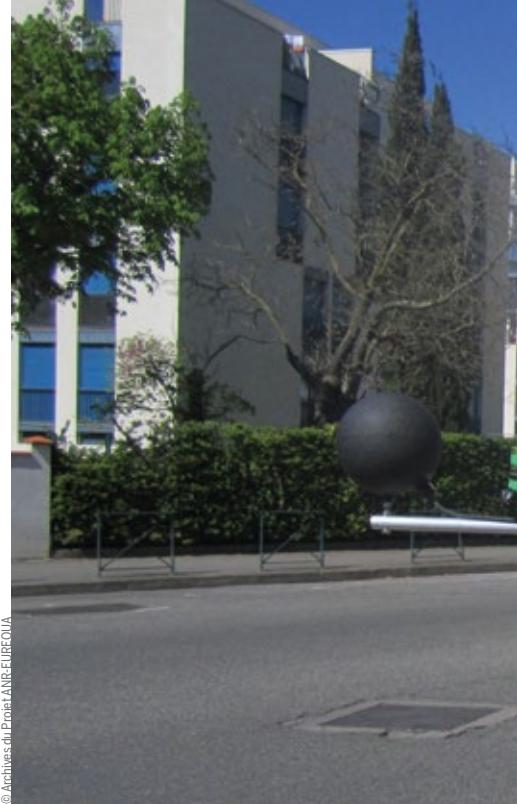
Contrairement à une idée répandue, ce phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) n'est pas principalement dû à la pollution et aux activités humaines, mais à la minéralisation de nos villes. En cause : les matériaux des bâtiments, le bitume des routes qui stockent l'énergie solaire et la restituent en fin de journée, ce qui limite le rafraîchisse-

ment de l'air. « C'est la nuit que l'écart de température entre ville et campagne est le plus important, lorsque le corps a besoin de récupérer, ce qui expose les personnes les plus vulnérables à un risque de surmortalité » souligne Valéry Masson, climatologue, responsable de l'équipe de recherche en climat urbain au Centre national de recherches météorologiques<sup>2</sup> à Toulouse. Lors de la canicule de 2003, un

excédent de 15 000 décès avait été observé en France, dont 5 000 rien qu'en Île-de-France.

## NOUS AVONS CONSTATÉ L'INÉGALITÉ DES CITADINS FACE AU RISQUE CLIMATIQUE

Face à ce qui est devenu un véritable enjeu de santé publique, les recherches pluridisciplinaires se multiplient. À Toulouse, les projets ANR Modélisation appliquée et droit de l'urbanisme climat et énergie (MAPUCE<sup>3</sup>) dirigé par l'équipe de Valéry Masson, et Évaluation multidisciplinaire et requalification environnementale des quartiers (EUREQUA<sup>4</sup>), coordonné par le LISST, associent des climatologues, des géographes, des sociologues, des urbanistes et des architectes. Objectif : croiser les compétences de chacun afin d'établir la meilleure stratégie d'adap-



© Archives du Projet ANR EUREQUA

tation de la ville à mettre en œuvre par les acteurs de l'aménagement. Afin de quantifier ces degrés supplémentaires, l'équipe de Valéry Masson a, dès les années 2000, mis au point un modèle numérique climatique urbain inédit, baptisé TEB<sup>5</sup>. Lancé en 2014, le projet MAPUCE vise à introduire de nouveaux paramètres dans celui-ci : les consommations d'énergie des logements et des bureaux, et les usages des habitants en matière de climatisation et de chauffage. « Au terme du projet, en 2018, nous espérons proposer un outil sur lequel les décideurs pourront s'appuyer afin de mettre en œuvre des politiques locales d'économie d'éner-

1. Laboratoire interdisciplinaire solidarités, sociétés, territoires – LISST-CIEU – Université Toulouse – Jean Jaurès, CNRS, EHESS (Centre interdisciplinaire d'études urbaines – CIEU). • 2. Centre national de recherches météorologiques - Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique – CNRM-GAME – Météo-France, CNRS. • 3. MAPUCE : <http://www.agence-nationale-recherche.fr/?Project=ANR-13-VBDU-0004>

gie et de gestion du climat » précise le climatologue. Encore faut-il identifier les zones vulnérables. L'épisode de 2003 montre que la surmortalité est liée à une situation résidentielle spécifique : logements situés au dernier étage, dans des immeubles mal isolés

Premier enseignement, issu des mesures de température et des enquêtes auprès des habitants : « Nous avons constaté l'inégalité des citadins face au risque climatique » souligne Sinda Haouès-Jouve, coordinatrice du projet EUREQUA. Ainsi, l'étude menée sur le

contrainte que les ménages renoncent à ventiler leur logement » observe en effet la géographe. Achevée au printemps 2016, EUREQUA servira à proposer des actions d'amélioration de la qualité environnementale tenant compte à la fois de l'expertise scientifique et des attentes et propositions des habitants. Car, dans la lutte contre l'îlot de chaleur urbain, la dimension participative est fondamentale.



et localisés dans des quartiers denses, peu végétalisés et par conséquent plus exposé aux ICU. C'est précisément pour obtenir une évaluation objective (basée sur des mesures physiques) et subjective (ressenti des habitants) du cadre de vie des citadins que l'étude EUREQUA a été conçue. Menée depuis 2012 dans trois villes (Toulouse, Paris, Marseille) à l'échelle d'un quartier, elle s'est s'appuyée sur une équipe associant géographes, sociologues, physiciens de l'atmosphère, acousticiens et architectes et s'est concentrée sur trois types de critères environnementaux : le confort climatique, le bruit et la qualité de l'air.

▲ **Aude Lemonsu, chercheuse CNRS au laboratoire GAME qui fais des mesures de paramètres météorologiques (Température de l'air, vent, humidité) et de qualité de l'air, route de Seysses à Toulouse.**

quartier de Bordelongue-Papus-Tabar, à Toulouse, a révélé que d'une rue à l'autre, la température pouvait varier de 4 °C. Et l'étude a livré d'autres résultats surprenants : l'exposition au bruit et à la pollution de l'air constitue un obstacle important à la régulation du confort climatique dans une perspective d'adaptation au réchauffement. « Ces nuisances constituent une telle

## L'îlot de fraîcheur

DE MONTAUDRAN

En 2019, des bâtiments sortiront de terre au cœur de la nouvelle ZAC de Montaudran-Aérospace à Toulouse, au bord de l'ancienne piste en asphalte des pionniers de l'Aéropostale, lieu de mémoire qui a été conservé. Mais comment atténuer l'effet de fournaise que celle-ci produira en été ?

C'est l'objet de l'étude appelée « IFU » (îlots de fraîcheur urbains) réalisée par une équipe de chercheurs<sup>4</sup> à la demande de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), en partenariat avec Toulouse Métropole. Elle a mis en avant quatre scénarios.

Le vert : doubler le nombre d'arbres par rapport au projet initial ; le bleu : augmenter le nombre de surfaces d'eau dans le quartier ; le blanc : éclaircir les toits et les façades des bâtiments ; le « prospect » : doubler la hauteur des bâtiments pour assurer plus d'ombre. « Le meilleur scénario est le bleu qui rafraîchit l'air de 2 à 6 °C selon les endroits, suivi du vert. La hauteur des immeubles n'a aucun effet, et l'éclaircissement est contre-productif, puisqu'il réchauffe l'air » explique Luc Adolphe, professeur au Département de génie civil et urbain de l'INSA de Toulouse, coordinateur de l'étude. C'est pourquoi davantage de fontaines et de brumisateurs sont d'ores et déjà prévus dans le projet.

4. EUREQUA : <http://eurequa.univ-tlse2.fr> • 5. TEB : « équilibre énergétique de la ville » (Town Energy Balance) • 5. INSA-Université Toulouse III – Paul Sabatier, Laboratoire de recherche en architecture (École nationale supérieure d'architecture de toulouse).

• 6. Laboratoire de recherche en architecture – LRA – ENSA Toulouse, INSA.

## Claire Lafossas

THÈSE : ÉLIMINATION DE L'ÉTHYLÈNE EN CONDITION D'ATMOSPHÈRE CONTRÔLÉE

**Explorateur : Expliquez-nous le sujet de votre thèse...**

**Claire Lafossas :** L'éthylène est une hormone de maturation produite naturellement par certains fruits et légumes. Plus il y en a dans l'air, plus ces derniers mûrissent vite. Une voie « propre » pour les stocker plus longtemps sans avoir recours à des pulvérisations directes d'agents chimiques consiste à détruire ce gaz dans la chambre de stockage. J'étudie plusieurs techniques d'oxydation pour dégrader l'éthylène et améliorer ainsi l'atmosphère de conservation des fruits et légumes.

**E : Vous menez votre thèse en partie avec un industriel, ce n'est pas courant...**

**CL :** C'est justement ce qui m'a passionnée dans ce sujet. Travailler à la fois avec des chercheurs et des industriels n'est pas toujours évident. Tandis que les universitaires cherchent toujours à aller plus loin, à tester de nombreuses hypothèses, notre partenaire industriel ABSOGER nous réplique les facteurs faisabilité technique et coût. Et les solutions que nous envisageons en laboratoire ne sont pas toujours réalisables en conditions réelles... S'adapter à ces deux mondes est très formateur !

**E : Vous souhaitez donc vous orienter vers l'industrie ?**

**CL :** Oui, j'espère rejoindre un département de recherche et développement. J'ai choisi mon sujet de thèse dans cette optique, sachant que le génie chimique se prête bien à la recherche au service d'une entreprise. Mais je n'exclus pas non plus de créer mon entreprise. J'ai eu la chance de participer aux Doctoriales® en 2014. Cette formation à destination des doctorants nous initie à la création d'entreprise.



École Doctorale Science de la matière (SDM).  
Institut National Polytechnique de Toulouse.



Laboratoire des interactions moléculaires et de la réactivité chimique et photochimique (IMRCP) : Université Toulouse III – Paul Sabatier, CNRS / Laboratoire de génie chimique de Toulouse (LGC) : Université Toulouse III – Paul Sabatier, INP Toulouse, CNRS / Société ABSOGER.



À participé aux Doctoriales® 2014. Thèse s'inscrit dans le projet Inno'Pom du pôle de compétitivité Agrimip, qui bénéficie d'un fonds unique interministériel (FUI) : soutien à la recherche appliquée.



lafossas@chimie.ups-tlse.fr

## Maxime Wavasseur

THÈSE : LES MOULINS DU CHÂTEAU NARBONNAIS DE 1375 À 1910

**Explorateur : Expliquez-nous le sujet de votre thèse...**

**Maxime Wavasseur :** Savez-vous où est née l'entreprise moderne, avec division du capital et actionnaires ? À Toulouse, au XIV<sup>e</sup> siècle ! Elle régissait les moulins sur la Garonne, notamment ceux du Château narbonnais<sup>1</sup>. Nous disposons d'archives sur le prix des actions, des dividendes, le nom des actionnaires, etc. sur plus de cinq siècles ! Grâce à cette masse d'informations, je cherche à tester sur le long terme une théorie de finance qui s'intéresse à la manière dont les prix des actifs financiers se forment : la « théorie d'évaluation des actifs », ou *asset pricing*.

**E : Vous venez de passer trois mois à Yale, aux États-Unis, en tant qu'étudiant-chercheur invité.**

**MW :** J'ai eu la chance de rencontrer William Goetzmann, directeur du département de finance de Yale, qui a travaillé sur les moulins de Toulouse avec mon directeur de thèse Sébastien Pouget. Il m'a fait découvrir des aspects historiques, comme l'existence d'une école de pensée économique au XVIII<sup>e</sup> s., celle des « physiocrates », qui prônaient un libre commerce du blé afin d'optimiser l'allocation des ressources. L'économie des moulins repose en partie sur cet esprit de libre concurrence.

**E : Vous êtes chargé de TD et conférencier à Toulouse School of Economics et à l'Université Toulouse 1 depuis deux ans. Envisagez-vous de continuer ?**

**MW :** Oui. Ma thèse et ce séjour à Yale m'ont ouvert à de nombreux domaines que j'ai vraiment envie d'approfondir, notamment l'histoire des finances. J'ai encore beaucoup à apprendre avant de me spécialiser ! Et j'ai réalisé que le meilleur moyen de fixer des connaissances, c'est de les enseigner. En France ou à l'étranger, qui sait ?



École doctorale : Sciences de gestion – Université Toulouse 1 Capitole.



Centre de Recherche en Management – CRM – Université Toulouse 1 Capitole, CNRS



Séjour de 3 mois à l'université de Yale (États-Unis) d'avril à juin 2015.



m.wavasseur@gmail.com

# Le cloud computing

## au service de l'environnement en Asie



Comment traiter à moindre coût d'énormes quantités de données environnementales ? Grâce au cloud computing ! Le projet européen TORUS, porté par un géographe toulousain, vise à le démontrer au Vietnam et en Thaïlande.

PAR ANNE DEBROISE

**L**'Union européenne vient d'accorder un financement de près d'un million d'euros au projet TORUS (*Toward an Open Resources Upon Services*), porté par le géographe Dominique Laffly. Ce professeur de l'université Toulouse II, chercheur au laboratoire GODE<sup>1</sup>, propose de développer les compétences d'universités du sud-est asiatique, avec lesquelles il entretient depuis des années des liens professionnels, dans le traitement de grands ensembles de données environnementales.

« Aujourd'hui, les sciences de l'environnement disposent d'énormes quantités de

données fournies en continu par les satellites et les réseaux de mesure implantés partout dans le monde, constate-t-il. Mais elles s'accumulent trop vite pour qu'on puisse les traiter et les analyser. » La solution pourrait résider dans le « cloud computing », qui consiste à mutualiser les ressources d'ordinateurs privés ou publics *via* l'Internet pour traiter ces Big Data. Encore faut-il savoir l'exploiter. « Or, il y a un manque de compétences, notamment à l'interface entre la géographie, les sciences de l'environnement et l'informatique » poursuit le chercheur.

C'est ce manque que le projet TORUS se propose de combler. D'abord, en formant des professeurs de quatre établissements, deux vietnamiens<sup>2</sup> et deux thaïlandais<sup>3</sup>.

### DES OUTILS INFORMATIQUES PERFORMANTS POUR SURVEILLER L'ENVIRONNEMENT

Deux ouvrages seront publiés, qui serviront de référence pour les professeurs et leurs élèves. TORUS financera également l'achat de serveurs et la formation des techniciens chargés de leur maintenance. Enfin, plusieurs projets de recherche ont d'ores et déjà été sélectionnés :

l'un exploitera les données satellites pour modéliser l'érosion, un autre traitera des ensembles de données massives pour modéliser la pollution atmosphérique, en Asie et plus localement à Hanoï.

Bui Quang Hung, directeur du Center of Multidisciplinary Integrated Technologies for Field Monitoring (FIMO) à l'université de Hanoï, et cheville ouvrière de TORUS en Asie, se félicite du financement du projet : « TORUS va nous fournir des outils informatiques performants pour surveiller l'environnement. C'est particulièrement important dans nos régions pour gérer les risques de catastrophe naturelle dans un contexte de changement climatique. » De plus, l'université de Hanoï va mettre sur pied un master « cloud computing et données environnementales ».

## Un projet européen

POUR L'ÉDUCATION

Améliorer les compétences et moderniser l'éducation dans le monde : tel est l'objectif de l'appel à projet Erasmus+Capacity Building de la Commission européenne. Cette année, il a reçu 575 candidatures. Parmi elles, 140 projets ont été retenus, dont 8 projets français. Parmi ceux-ci, le projet TORUS, qui recevra 996 965 euros sur trois ans. La direction revient à Dominique Laffly, à l'Université Toulouse – Jean Jaurès. L'École internationale des sciences du traitement de l'information (EISTI) de Pau définira les infrastructures nécessaires et formera les techniciens en Thaïlande et au Vietnam. Les scientifiques de l'université de Ferrare (Italie) et de Vrije (Belgique) formeront les professeurs et les chercheurs.

1. Géographie de l'environnement – GODE – Université Toulouse – Jean Jaurès, CNRS. • 2. Université nationale du Vietnam à Hanoï, université Nong Lam à Hô Chi Minh-Ville. • 3. Asian Institute of Technology de Pathum Thani, université Walailak de Nakhon Si Thammarat.

# En route vers le Big Data

Plateforme de calcul intensif, CALMIP est à la disposition de tous les laboratoires de Midi-Pyrénées, mais aussi des entreprises innovantes. De la mécanique des fluides à l'écologie, nombreux sont ceux à en exploiter les hautes performances de calcul parallèle et prochainement de traitement des mégadonnées.

PAR PASCAL NGUYEN

Il y a encore quelques années, le calcul intensif n'était l'apanage que de quelques domaines scientifiques comme la physico-chimie des matériaux et la mécanique des fluides. Aujourd'hui, tout le monde s'y met ! » s'enthousiasme Boris Dintrans, directeur du Centre de calcul intensif de Midi-Pyrénées, CALMIP<sup>1</sup>. Après l'inauguration en mai du nouveau super-calculateur EOS, la demande de temps de calcul atteignait, au bout d'un mois et demi à peine, les 80 % des 100 millions d'heures dis-

ponibles annuellement. Et avec l'arrivée prévue du Big Data, cette demande ne va certainement pas diminuer...

Le rush actuel au CALMIP (400 chercheurs de 30 labos !) s'explique par la dimension qu'a prise aujourd'hui le calcul scientifique dans la recherche. Il permet de réaliser des simulations informatiques ou des traitements de données qui prendraient des lustres en expérimentation classique ou qui ne seraient tout simplement pas réalisables. Il s'explique également parce que ce service mutualisé offre une puissance de calcul qu'aucun laboratoire ne pourrait s'offrir.

## NOUS SOMMES ENTRÉS DANS L'ÈRE DU BIG DATA

La mécanique des fluides, par exemple, fait partie des domaines historiques qui exploitent le calcul scientifique depuis des décennies et s'est tournée vers CALMIP. « Nous utilisons le calcul, en parallèle de l'expérimentation, quasiment depuis que l'informatique existe, soulignent Pascal Fede et Hervé Neau, de l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse<sup>2</sup>. Notre institut consomme aujourd'hui environ 5 millions d'heures de calcul par an. » L'une de leurs simulations numériques en cours mobilise à elle seule plus d'1,5 million d'heures.

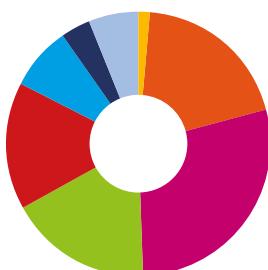


© Sébastien Chastanet (OMP)

Mais la plateforme mutualisée a vu arriver de nouveaux laboratoires dans des domaines peu familiers du calcul, comme l'écologie. Lors de la préparation de sa thèse en 2009, Ivan Paz-Vinas travaillait à un projet d'étude de populations de poissons mené conjointement par la Station d'écologie expérimentale à Moulis<sup>3</sup> (lire

p.16) et le laboratoire Évolution et diversité biologique<sup>4</sup> : « Pour traiter nos données, je disposais de 6 ou 7 ordinateurs au labo. Mais chaque calcul prenait une à deux semaines. Or, j'en avais des centaines à réaliser... » Un collègue lui parle alors de CALMIP auprès duquel il fait une demande d'heures de calcul. « Non seulement nous avons réalisé tous nos calculs beaucoup plus rapidement mais nous avons pu élargir nos recherches, comme remonter toute

**CALMIP**  
Répartition des thématiques scientifiques en 2014

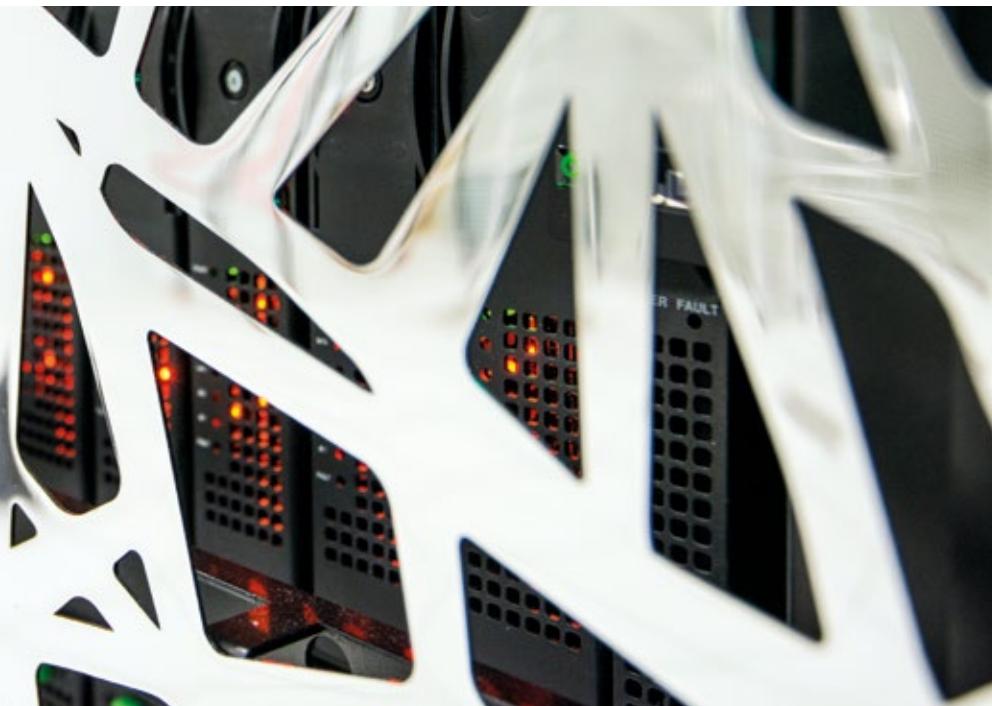


- |                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Physico-chimie des matériaux        | 28,5 % |
| Mécanique des fluides               | 19,5 % |
| Sciences de l'Univers               | 17,5 % |
| Chimie                              | 15,5 % |
| Bioinformatique                     | 8 %    |
| Physique théorique et moléculaire   | 6 %    |
| Sciences physiques pour l'ingénieur | 3,5 %  |
| Méthodes numériques                 | 1,5 %  |

l'histoire démographique de quatre espèces de poissons » souligne-t-il. Et l'équipe s'est prise au jeu du calcul. De 2 000 en 2010, le nombre d'heures pour ce projet est passé par un pic de 130 000 en 2013. Les domaines scientifiques utilisant CALMIP se sont multipliés. En

dans le cadre du Contrat de plan État-Région. En effet, Boris Dintrans n'ambitionne pas seulement une montée en puissance de calcul mais aussi en capacité de stockage : « Nous sommes entrés dans l'ère du Big Data. Il va falloir traiter les mégadonnées produites

par les équipements en cours de développement en astronomie, le séquençage génomique en biologie ou encore les études sociologiques des sciences humaines. » CALMIP (Calcul en Midi-Pyrénées) pourrait ainsi devenir CADAMIP (Calcul Data en Midi-Pyrénées) en 2016 puisqu'un investissement de plus de 2 millions d'euros dans une unité de stockage et de traitement des mégadonnées est déjà acté.



parallèle, leurs travaux se sont complexifiés. Le calcul intensif ouvre le champ des possibles, comme l'explique Boris Dintrans : « En chimie, par exemple, quand les scientifiques travaillaient sur 10 molécules, ils n'hésitent plus à en étudier 100 maintenant ! » Cela oblige CALMIP à rester à la pointe de la technologie. EOS développe une puissance équivalente à celle de 3 000 ordinateurs de bureau réunis. Quand il a été installé, il était classé 183<sup>e</sup> au Top 500 des machines les plus puissantes du monde. Pour conserver ce niveau de performances, le supercalculateur est changé tous les quatre ans environ. EOS est ainsi sept fois plus puissant que son prédécesseur, Hypéron. Et Boris Dintrans annonce déjà son remplaçant encore sept fois plus puissant en 2017.

Restez au top de la performance permet à CALMIP, et donc à la région Midi-Pyrénées, de conserver une forte attractivité, qui devrait s'accentuer avec le nouveau projet mené

▲ **Le nouveau supercalculateur de CALMIP a été installé à l'Espace Clément-Ader en mai dernier.**

**12 240 processeurs**  
qui travaillent en parallèle

**274 milliards**  
d'opérations à la seconde

**100 millions**  
d'heures de calculs par an

**400 chercheurs**  
de 30 laboratoires utilisateurs

**1994**  
année de création de CALMIP

## Un site stratégique

CALMIP a emménagé en octobre 2014 dans des locaux flambant neufs au sein de l'Espace Clément-Ader, premier bâtiment du futur campus Montaudran Aerospace dévolu à la recherche. Un choix révélateur de la place stratégique qu'occupe le calcul scientifique aujourd'hui. « Il est transversal et partagé par le monde académique mais aussi par celui des entreprises » confirme Boris Dintrans, directeur de CALMIP. Et disposer d'une plateforme proche géographiquement est un atout et un confort pour les futures structures voisines : l'Institut de Recherche Technologique Saint-Exupéry, la Maison de la Formation Jacqueline-Auriol – qui regroupera les étudiants en génie mécanique, productique et aéronautique de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées – ainsi que des start-up.

3. Station d'écologie expérimentale de Moulis – SEEM – Rattachée depuis ses origines au CNRS, et partenaire du labex Tulip, Moulis deviendra une UMS et UMR avec l'Université Toulouse III – Paul Sabatier. Le MNHN est également une de ses tutelles.

4. Évolution et diversité biologique – EDB – Université Toulouse III – Paul Sabatier, CNRS, ENFA. Ce laboratoire est membre du Labex Tulip.

# L'actualité scientifique de Toulouse Midi-Pyrénées



MAGAZINE SCIENTIFIQUE DE L'UNIVERSITÉ FÉDÉRALE TOULOUSE MIDI-PYRÉNÉES

#### LES ÉTABLISSEMENTS MEMBRES

- Université Toulouse 1 Capitole
- Université Toulouse - Jean Jaurès
- Université Toulouse III - Paul Sabatier
- Institut National Polytechnique de Toulouse
  - École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse
  - École Nationale Supérieure d'Électrotechnique, d'Électronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications
  - École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques
  - École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes
  - École Nationale de Météorologie
  - École d'Ingénieurs de Purpan
  - École Nationale Vétérinaire de Toulouse
- Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse
- Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace
- Centre Universitaire

Jean-François Champollion

- École Nationale de l'Aviation Civile
- École Nationale de Formation Agronomique
- École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse
- École Nationale Supérieure des Mines d'Albi-Carmaux
- Institut Catholique d'Arts et Métiers de Toulouse
- Sciences Po Toulouse
- Toulouse Business School

#### LES ORGANISMES DE RECHERCHE

- Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS
- Institut National de la Recherche Agronomique, INRA
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, INSERM
- Institut de Recherche pour le Développement, IRD
- Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales, ONERA

Abonnez-vous en 1 click  
et recevez *Exploreur*  
chez vous gratuitement

4 numéros/an  
dont 1 en anglais



[www.univ-toulouse.fr/exploreur](http://www.univ-toulouse.fr/exploreur)

# Corinne Bonnet

## Historienne du « vivre-ensemble » religieux

Dans l'Antiquité, les religions comportaient une multitude de divinités, de pratiques et de croyances. Au laboratoire Patrimoine, Littérature, Histoire, Corinne Bonnet montre qu'elles savaient pourtant cohabiter pacifiquement. De quoi nourrir la réflexion sur les relations entre les religions contemporaines.

PROPOS RECUEILLIS PAR CAMILLE PONS

**Exploreur** : Dans votre ouvrage *Les Enfants de Cadmos*, récemment primé<sup>1</sup>, vous montrez que la religion grecque et la religion phénicienne, pourtant très différentes, ont su cohabiter. Comment était-ce possible ?

**Corinne Bonnet** : Dans l'Antiquité, contrairement à ce que nous connaissons aujourd'hui en Europe notamment, on pratiquait surtout des religions polythéistes, et une diversité de systèmes religieux pouvaient cohabiter au sein d'un même espace. Athènes, par exemple, est une cité très visitée, des étrangers s'y installent et pratiquent leurs propres cultes, et tous sont considérés comme légitimes pourvu qu'ils ne troublient pas la concorde civique. Dans mon laboratoire de l'Université Toulouse – Jean Jaurès<sup>2</sup>, je travaille notamment à cerner les facteurs qui ont favorisé cette hybridation pacifique.

**E** : Comment se matérialisait cette cohabitation ?

**CB** : Par des formes inédites de religiosité, en partie imprévisibles : de nouvelles formes de culte, de dévotion, de représentation... Le bi- ou le multiculturalisme s'observe par exemple dans les statues offertes aux divinités : sur leur socle, le texte gravé peut être bilingue. Ou bien les modes de représentation se diversifient : dans un



© Samuel Martin/DTICE/UT2J

même sanctuaire, la déesse phénicienne Astarté, figurée par un trône vide, partage l'espace avec la déesse grecque Aphrodite qui est à l'inverse très anthropomorphe, très sexuée.

**E** : Pourrait-on recréer une situation semblable entre les religions aujourd'hui ?

**CB** : Le « vivre-ensemble » de l'Antiquité n'est pas obligatoirement transposable mais il donne à réfléchir. Ainsi, quand on parle d'Islam de France, il faut admettre que cela sera nécessairement un « produit » original, destiné à entrer en résonance avec la laïcité française. De ce point de vue, il conviendrait sans doute de laisser les compromis se négocier de manière créative.

**E** : Précisément, vous avez contribué à une note « Islam, citoyenneté et radicalisation » pour le CNRS. Quelle en est la teneur ?

**CB** : Cette note, rédigée avec cinq collègues<sup>3</sup>, analyse l'état de la recherche en France et propose des pistes de travail sur ces thématiques. Nous préconisons une approche ample et pluridisciplinaire qui associe l'histoire de l'Islam, l'analyse des phénomènes de radicalisation, une approche comparative avec d'autres religions ou encore l'étude du position-

nement géopolitique des pays arabes. Il faut aussi considérer l'ensemble du paysage religieux national et international, et travailler sur l'articulation entre religions et laïcité. Ainsi, on traitera ces questions avec intelligence, et non de façon étroite, sectorielle, donc idéologique.



Le Diplôme universitaire (DU) « Politique, religion, laïcité », initié par Corinne Bonnet et l'Université Toulouse – Jean Jaurès en collaboration avec Sciences-Po Toulouse, vise, à travers une approche pluridisciplinaire, à donner des outils pour mieux gérer les situations professionnelles multiconfessionnelles. Le DU « Droit et religions » proposé par l'Université Toulouse 1 Capitole forme aux régimes juridiques des activités cultuelles et aux relations entre les institutions religieuses et les pouvoirs publics.

1. Le livre *Les Enfants de Cadmos*. Le paysage religieux de la Phénicie hellénistique (éditions de Boccard, 2015) a reçu le prix Franz-Cumont d'histoire des religions de l'Académie royale de Belgique. • 2. PLH, Université Toulouse – Jean Jaurès, membre du Labex « Structuration des mondes sociaux ». • 3. Note issue d'un groupe de travail du conseil scientifique du CNRS composé de Corinne Bonnet, Rosi Braidotti, Sarah Curtis, Catherine Delcroix, Claire Lemercier et Sophie Pochic.

# Les arts

## Créateurs de valeurs

Oui, la recherche en arts et en lettres peut intéresser le monde socio-économique ! La preuve avec la plateforme CRISO (Création et innovation sociale) de l'Université Toulouse – Jean Jaurès, qui depuis 2011 a établi une quinzaine de partenariats privés et publics.

PAR **CARINA LOUART**

Imaginez une session de congrès médical en trois temps. D'abord un « atelier questions » : des médiateurs passent de table en table pour recueillir les questions et les attentes des participants. Puis, la séquence « exposé » au cours de laquelle le conférencier présente sa communication en intégrant les informations requises par les participants. Enfin, un atelier « débriefing » en petits groupes réservé aux questions supplémentaires et aux échanges d'expérience. Ce dispositif a été expérimenté en mai dernier à l'occasion du dernier Congrès européen de cardiologie interventionnelle (EuroPCR) à Paris. Il a été conçu par des chercheurs du laboratoire commun RiMeC (RéInventer le Média Congrès) qui réunit la société toulousaine Europa Organisation, leader national dans l'organisation des congrès médicaux, et le laboratoire de recherche LLA-CREATIS (Lettres, langages et arts)<sup>1</sup> de l'Université Toulouse – Jean Jaurès. « À l'heure où tout est accessible sur le web, nous cherchons à apporter de la valeur ajoutée à nos congressistes », explique Marc Doncieux, président

d'Europa Organisation. Pourquoi faire appel à des chercheurs en arts et lettres ? Parce que ces derniers travaillent sur la notion d'« intermédialité ». Il ne s'agit plus de considérer une œuvre d'art (ou un média) dans son ensemble, mais d'explorer les liens qui unissent les différents éléments de

l'œuvre, ou celle-ci avec son environnement. Un congrès classique, c'est une communication plutôt figée du conférencier vers son public. Appliquée au congrès, l'intermédialité permet de travailler sur les liens

entre les différentes séquences de celui-ci pour le « dynamiser ».

Créé en 2013, RiMeC est le seul laboratoire de recherche université-entreprise dans le domaine des arts en France. Il n'aurait pu exister si, en 2009, des chercheurs de LLA-CREATIS, désireux de revivifier les disciplines arts et lettres, et convaincus de leur utilité sociale, n'étaient partis à la conquête du monde socio-économique. Pour cela ils créent un club baptisé STARS (Science, technologie, art, recherche, savoir), fédérant chercheurs, artistes,

entreprises privées et publiques. Rapidement, les premiers partenariats s'établissent : Europa Organisation, Technal, le CHU de Toulouse, biscuiterie Poult... Pour les mettre en œuvre, la plateforme CRISO est créée en 2011<sup>2</sup>. « Un partenariat s'établit toujours autour d'un projet construit avec l'entreprise : celle-ci a un besoin d'innovation que nous traduisons en programme de recherche pour concilier au mieux des objectifs économiques et une exigence scientifique » explique Bruno Péran, chef de projet de CRISO. Le partenariat peut prendre la forme d'un contrat de recherche bénéficiant du crédit d'impôt recherche et pouvant donner lieu à des CDD (post doctorat) ou bien encore d'une thèse financée par un dispositif CIFRE. Exemple ? « Les relations homme-femme et la fonction sociale du bijou en Chine » en association avec le groupe de luxe Richemont en 2012. « Une de nos doctorantes en anthropologie a étudié le rôle et la place des bijoux dans les rites et les comportements amoureux, dans la perspective de l'implantation de l'entreprise en Chine » précise Bruno Péran. Plus ponctuellement, des ateliers,



©CC/Nathalie Géard

des séminaires ou des journées thématiques peuvent être proposés en fonction des besoins de l'entreprise. Depuis sa création, la plateforme s'est développée autour de quatre pôles, Air et espace, Santé, Valeur et Technologie, et a généré 1,4 million d'euros de contrats de recherche, toujours dans une démarche gagnant-gagnant. « La dimension applicative de ces programmes offre de nouvelles perspectives à nos doctorants, nourrit la recherche et ouvre des terrains inédits » explique Monique Martinez, responsable scientifique du LabCom RiMeC et de CRISO. Pour Marc Doncieux, « l'université apporte un regard neuf, débridé et pluridisciplinaire sur nos métiers, tout en offrant la garantie du label scientifique. LLA-CREATIS nous a vraiment permis de réorienter notre R & D ». Aujourd'hui, les chercheurs de CRISO ont décidé de « capitaliser » autour de leurs expériences : des ateliers de recherche sur le thème de « l'innovation dans le domaine des arts et des lettres », soutenu par le LabEx toulousain SMS (Structuration des mondes sociaux) sont programmés à la rentrée 2015-2016.

20 personnes  
dans RiMeC dont 3 doctorants  
et postdocs

400 000 €  
le budget de RiMeC  
(75% ANR, 25% Europa Organisation)

2013  
année de création de RiMeC

2015  
RiMeC reçoit le prix AEF de la « meilleure initiative partagée » au salon Relation Université-Entreprise (RUE), à Paris.

▼ Les deux artistes Thibault Guichard et Ludwig (doctorant au LLA-Créatis) présentent, au festival La Novela en 2013, la performance *Ici Poddema*. Cette fiction-conférence est destinée aux astronautes qui effectuent des vols spatiaux de longue durée.



## Interview

L'ART EST VITAL POUR  
LES VOLS AU LONG COUR



YVES GOURINAT,  
Chef du département  
Mécanique des structures  
& Matériaux - ISAE-SUPAERO

**Vous codirigez avec LLA-CREATIS un programme de recherche visant à intégrer des dispositifs artistiques dans les vols spatiaux de longue durée. Dans quel but ?**

Plusieurs études dont la nôtre<sup>3</sup> ont montré qu'au plan psychologique, l'être humain ne peut pas vivre pendant deux ou trois ans dans un environnement où toutes ses actions sont programmées. Il a besoin de créer et d'être aux prises avec l'« imprévu »...

**Quels dispositifs artistiques sont utilisés ?**

De la création numérique grâce aux imprimantes 3D, mais aussi des systèmes sensoriels utilisant la réalité augmentée qui permettent par exemple de diffuser de manière impromptue des images, des sons, des odeurs... Chaque dispositif est conçu par le doctorant de LLA-CREATIS et plasticien Ludwig, puis examiné par les spécialistes de l'industrie spatiale.

**Quel débouché pour ces travaux ?**

À l'issue du programme, en 2017, nos concepteurs pourront proposer des concepts d'habitacle de vaisseau spatial intégrant ces dispositifs.

## Dates

**1966**

Naissance à Dolisie  
(République du Congo)

**1994**

Doctorat à l' INP-ENSIACET

**Depuis 1998**

Enseignant-chercheur  
à l'École des Mines  
d'Albi-Carmaux

**2005**

Création du cycle  
de conférences  
internationales WasteEng

**2010**

Création de la revue *Waste  
and Biomass Valorization*  
et obtention du Prix présidentiel  
pour la chimie durable

**2016**

Organise WasteEng 2016  
à Albi en mai



# Ange Nzihou

## Catalyseur de talents

Professeur internationalement reconnu, fondateur d'un cycle de conférences internationales et d'une revue scientifique dédiés à la valorisation des déchets et biomasses, récompensé par l'un des plus prestigieux prix américains, Ange Nzihou a réussi à fédérer sa communauté scientifique.

PAR **CAMILLE PONS** - PHOTOGRAPHIE DE **FRÉDÉRIC MALIGNE**

**S**on récit est à l'image de l'accueil qu'il réserve à l'équipe d'*Exploreur* dans ses locaux à l'École des Mines d'Albi-Carmaux (EMAC). Sans prétention, alors que ce chercheur s'est notamment vu récompenser aux États-Unis pour l'ensemble de ses travaux par le Prix présidentiel pour la chimie durable, rarement décerné à une personnalité non américaine. « Ma vie scientifique est une histoire de pragmatisme, résume Ange Nzihou avec modestie. Je me suis demandé au début de ma carrière comment mon travail pourrait répondre à des enjeux à la fois industriels et sociaux. » Une histoire de persévérance aussi. Car ce docteur en génie des procédés, dont la thèse portait sur la cristallisation de composés issus de produits pétroliers, a finalement trouvé sa voie dans un domaine plus durable : celui de

la valorisation des déchets et biomasses pour la production d'énergie et de matériaux renouvelables, où il a acquis une réputation internationale. Devenu directeur du centre de recherche Rapsodee<sup>1</sup> dans lequel il a démarré ses projets, il est aujourd'hui professeur invité dans pas moins de quatre universités, en Chine et aux États-Unis, notamment à Princeton.

**JE ME SUIS DEMANDÉ  
COMMENT MON TRAVAIL  
POURRAIT RÉPONDRE  
À DES ENJEUX À LA FOIS  
INDUSTRIELS  
ET SOCIÉTAUX**

Pour autant, Ange Nzihou, originaire de la République du Congo, a fait le choix de rester en France, le pays qui l'a accueilli fin 1987, et de passer les premières années à Toulouse où il a décroché son doctorat à l'INP-ENSIACET<sup>2</sup>, avant de s'établir à Albi. Un choix opéré, s'amuse le chercheur, « à Roissy quand mes camarades africains venus m'accueillir m'ont expliqué que dans l'autre ville qui pouvait m'accueillir, Nancy, il faisait froid ! »

© Frédéric Maligne

1. Centre de recherche d'Albi en génie des procédés des solides divisés, de l'énergie et de l'environnement – RAPSODEE – École des Mines d'Albi-Carmaux, CNRS. • 2. Institut national polytechnique de Toulouse - École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques.

## DES PROJETS EN SÉRIE

Doctorat en poche, il travaillera un an dans une PME mais connaîtra ensuite deux ans de chômage avant d'accéder à la nationalité française, confie-t-il sans s'attarder sur cette période de sa vie. Des années difficiles durant lesquelles il travaille bénévolement pour ne pas couler sa carrière scientifique, et qu'il met à profit pour construire le projet sur lequel il bâtira sa réputation.

Deux grandes dates marquent ses travaux : l'année 2000, lors de laquelle il signe un contrat durable avec le groupe mondial de chimie Solvay et débute ses travaux autour de la valorisation des résidus de combustion avec son partenaire de toujours, le professeur Patrick Sharrock, de l'IUT de Castres (Université Toulouse III – Paul Sabatier), et l'année 2004, lorsqu'il rentre de son premier séjour effectué à Princeton. L'université américaine lui a « ouvert les portes de l'international », et il ramène dans ses bagages un état d'esprit qui l'engage à « prendre davantage d'initiatives » et qui sera le point de départ

du lancement de projets en série. Dix tournent à ce jour, qui mobilisent des équipes de cinq pays (USA, Chine, Inde, Sénégal, Colombie) et 38 chercheurs, dont huit doctorants et deux postdocs venus du monde entier.

## LA RECHERCHE INDUSTRIELLE AU SERVICE DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE

Il n'aurait pu les mener à bien sans cultiver un rapport privilégié avec le monde industriel. Il a bâti une dizaine de partenariats avec notamment Solvay, mais aussi Terreal, spécialiste des matériaux de construction en terre cuite, avec qui il planche sur la fabrication de matériaux innovants – des briques et des tuiles notamment – incluant des coproduits et résidus agricoles. Ou encore, dans le domaine des phosphates, avec l'Office chérifien des phosphates du Maroc, leader mondial, et la société belge Prayon. Des travaux qui ont déjà fait l'objet de quatre brevets dont deux avec Solvay.

Ces partenariats permettent aussi de financer la recherche fondamentale. Actuellement, l'un des projets phares de l'équipe, mené avec l'université de Princeton et des partenaires industriels, vise à mettre au point des catalyseurs à propriétés contrôlées, dans la perspective de la production de biocarburants. Autres débouchés pour ces travaux : des matériaux pour le stockage thermique de l'énergie dont la nature est encore confidentielle, ou des filtres à bas coût pour traiter les eaux usées, notamment destinés aux pays en voie de développement.

## FÉDÉRATEUR DES SPÉCIALISTES DU DOMAINE

Ange Nzihou aurait pu s'en tenir à des travaux remarqués. Mais il avait aussi la volonté de fédérer sa communauté. En 2005, à 39 ans seulement, il lance un cycle de conférences internationales dédiées au domaine des déchets, les WasteEng Conference Series. La première édition avait eu lieu à Albi, ville où cette manifestation retourne en 2016 pour sa sixième édition, après des passages en Grèce, en Chine, au Portugal et au Brésil. Aujourd'hui, ces conférences rassemblent 400 à 500 chercheurs venus du monde entier.

Pour fédérer davantage les chercheurs, il lance en 2010 la première revue scientifique dédiée au domaine, *Waste and Biomass Valorization* (« valorisation des déchets et de la biomasse »), et convainc Springer, une maison prestigieuse, de l'édition. Il en sera d'entrée de jeu le rédacteur en chef. Responsabilité méritée, car, résume Fritz Schmuhl, le directeur des publications en sciences de l'environnement chez Springer, « Ange Nzihou combinait des publications solides et nombreuses et avait le soutien d'un impressionnant groupe de chercheurs de premier plan dans le monde entier ».

La revue a, en outre, gagné très vite en visibilité puisqu'elle a obtenu son facteur d'impact<sup>1</sup> cette année, « ce qui est relativement rapide pour un si jeune journal » remarque Fritz Schmuhl, et

à un niveau déjà élevé<sup>2</sup>. « Une réussite exceptionnelle, résume de son côté Patrick Sharrock, due autant à son travail qu'à la réflexion qu'il a menée sur les enjeux importants dans ce domaine. » L'intéressé insiste de son côté sur l'importance de

son équipe multiculturelle sans qui tous ces travaux ne pourraient être menés. Il se dit aussi très attaché au regard de ses confrères. Et il n'hésite pas, quand il démarre un projet, à le soumettre « à des collègues de très bon niveau qui ont une analyse critique objective. Parce que je suis naturellement prudent, explique Ange Nzihou. D'ailleurs, j'aime les arts martiaux, le karaté particulièrement où l'on ne porte une attaque que lorsque l'on est sûr de toucher sa cible ! »

Enfin, et cela n'a chez lui rien d'un paradoxe, ce proche des grands industriels clame haut et fort son attachement au service public, en donnant des conférences et en planchant sur des projets de collectivités ou de l'État notamment : « Je considère que c'est normal de rendre quelque chose à ce beau pays, la France, qui m'a tout donné et où j'ai trouvé ma place. »

# Esprit d'équipe

## RAPSODEE

Ange Nzihou dirige le centre de Recherche d'Albi en génie des Procédés des SOLides Divisés, de l'Énergie et de l'Environnement (Rapsodee). L'effectif de 110 personnes se répartit en deux départements : « énergétique et environnement », qui travaille sur la valorisation des déchets et la production d'énergies renouvelables (solaire, biomasse) ; et « poudres et procédés », qui met au point des procédés plus durables pour la fabrication de poudres (pour la pharmacie et l'agroalimentaire notamment). Rapsodee est membre du Labex Solstice et de l'Equipex Génépi.

# École des Docteurs

*Le doctorat vous mène plus loin*



Créativité, expertise, rigueur, les docteurs de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées ont tout pour augmenter votre réussite. Les docteurs de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées ont toutes les compétences pour mettre en œuvre, développer et optimiser vos projets dans une démarche proactive. Ce sont des professionnels capables d'imaginer des approches innovantes au profit de votre entreprise et de la société.

Université Fédérale



Toulouse Midi-Pyrénées

[www.univ-toulouse.fr](http://www.univ-toulouse.fr)

**TOULOUSE**

QUAI DES SAVOIRS, ALLÉE JULES GUESDE

27 & 28 NOVEMBRE

# FUTURA POLIS<sup>®</sup>



DÉBATS

GEEKS, GRANDS PATRONS,  
INTELLOS, POLITIQUES,

2 JOURS AVEC DES STARS



LE LAB

1000 M<sup>2</sup>  
D'EXPOSITION



VENEZ  
DÉCOUVRIR  
JOUER &  
MANIPULER !



ENTRÉE GRATUITE SUR INSCRIPTION & PROGRAMME  
**FUTURAPOLIS.COM**

REJOIGNEZ-NOUS SUR



UN ÉVÉNEMENT

**Le Point**

AVEC

RÉGION  
MIDI-PYRÉNÉES

toulouse  
métropole

COMMUNAUTÉ URBAINE

ET

SMTC

l'orange

edf

total

Google

france  
info

