NOVEMBRE 2015

AllEnvi

Alliance nationale de recherche pour l'Environnement

60 SUCCÈS DE LA RECHERCHE POUR UNE PLANÈTE DURABLE

PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ MENACÉE

NOURRIR LE MONDE

PRÉSERVER LA MER ET LES OCÉANS

GÉRER LES RESSOURCES EN EAU

AMÉNAGER LES TERRITOIRES

PRÉVENIR LES MALADIES ÉMERGENTES

ANTICIPER LES RISQUES...

LES CHERCHEURS SE MOBILISENT POUR LE CLIMAT ET L'ENVIRONNEMENT

PARIS2015
LA RECHERCHE SE MOBILISE POUR LE CLIMAT

PARIS2015

LA RECHERCHE SE MOBILISE POUR LE CLIMAT

De portée mondiale, le défi du changement climatique appelle une mobilisation forte, large et ouverte de la communauté scientifique.
Les 12 membres fondateurs et les 16 membres associés d'AllEnvi représentent une communauté de près de 20 000 scientifiques. Elle couvre l'ensemble des thématiques de la recherche environnementale et est activement engagée dans l'espace européen de la recherche et dans de grandes initiatives internationales.
AllEnvi rassemble ainsi une capacité remarquable d'expertise — pluridisciplinaire et systémique — des questions relatives aux changements climatiques, à leurs causes, à leurs cascades d'impacts et aux stratégies de lutte.

AllEnvi

www.allenvi.fr

Alliance nationale de recherche pour l'Environnement

SOMMAIRE

60 SUCCÈS DE LA RECHERCHE POUR UNE PLANÈTE DURABLE

4 **Enjeux**
La recherche en action - Quatre défis majeurs pour une planète durable

8 **Le mot du président François Houllier**
« Changement climatique : des solutions concrètes pour des impacts déjà sensibles ! »

10 **Ils ont dit**

12 **Stratégie**
Diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre

14 **Connaissances**
Le filet géant des chercheurs

18 BIODIVERSITÉ Comprendre la biodiversité pour mieux la gérer

22 AGRICULTURE ET ALIMENTATION Nourrir le monde

30 MER Observer les océans

32 EAU Gérer les ressources en eau

38 MALADIES ÉMERGENTES Prévenir les maladies émergentes

42 FORÊTS Préserver les forêts

44 ÉNERGIES Faire évoluer nos besoins énergétiques

50 TERRITOIRES ET VILLES Aménager les villes

54 ATTÉNUATION Réduire les émissions de GES

56 LITTORAL Sauvegarder le littoral

58 RISQUES Anticiper les risques liés au changement climatique

62 **L'Alliance**
Au cœur de la recherche sur le changement climatique

ÉDITORIAL

Comment la recherche française se mobilise face au changement climatique

La conférence scientifique internationale Our Common Future under Climate Change *organisée à Paris, en juillet 2015, l'a clairement confirmé : le dérèglement climatique est réel, avec ses cascades d'impacts et l'exigence chaque jour plus vive de proposer des solutions durables.*
L'alimentation, les ressources naturelles, la biodiversité, les territoires sont ainsi des enjeux majeurs : comment nourrir plus de neuf milliards d'êtres humains d'ici 2050, garantir l'accès à l'eau en qualité et quantité, réduire les émissions de gaz à effet de serre, adapter l'urbanisme ou dessiner de nouveaux territoires ?
Le rôle de la recherche est ici essentiel : décrire, diagnostiquer et comprendre les systèmes et leurs mécanismes ; développer des technologies ; adapter nos organisations et innover ; éclairer les sociétés et leur proposer des solutions durables.
Dans la perspective de la COP 21, qui se tient à Paris au mois de décembre 2015, la recherche publique française, sous l'égide d'AllEnvi, se mobilise pour mieux comprendre et lutter contre ce changement climatique. ***L'alliance AllEnvi publie cet ouvrage exceptionnel sous forme d'un magazine de 64 pages intitulé 60 succès de la recherche pour une planète durable.***
Parmi toutes les réussites scientifiques, la rédaction a effectué une sélection qui donne un bon panorama des travaux réalisés. Chacun pourra se rendre compte de la mobilisation exceptionnelle des scientifiques français pour mettre en commun des expertises transversales et pluridisciplinaires.

Les membres d'AllEnvi

60 SUCCÈS DE LA RECHERCHE POUR UNE PLANÈTE DURABLE
est édité par ALLENVI
(AllEnvi, 147 rue de l'Université, 75338 Paris cedex 07 ; contact@allenvi.fr)
Directeur de la publication : François Houllier.
Directrice de la rédaction : Anne Hébert.
Comité éditorial : Nicolas Arnaud, Philippe Bougeault, Caroline Dangléant, Christine Douchez, Benoît Fauconneau, Johanne Ferry-Dély, Marie-Ange Folacci, Anne Hébert, Fabrice Impériali, Marion Le Foll, Aliette Maillard, Brigitte Raffray, Marie-Lise Sabrié, Claire Sallenave, Caroline Thomas, Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin, Pierre Vassal, Frédéric Vernhes.
Conçu et réalisé par Contenteo – Agence de Content Marketing.
Rédacteur en chef délégué : Michel Fantin.
Rédaction : Caroline Dangléant, Michel Fantin, Delphine Tissier.
Secrétariat de rédaction : Delphine Tissier. Conception graphique et réalisation : Céline Hein.
Gestion de projet et vidéo : Florent D'Amato. Fabrication : FAB'4.
Imprimé en France sur papier certifié FSC.
ISBN : 978-2-87614-709-6 Dépôt légal : novembre 2015

© ALLENVI 2015

LA RECHERCHE EN ACTION
QUATRE DÉFIS MAJEURS
POUR UNE PLANÈTE DURABLE

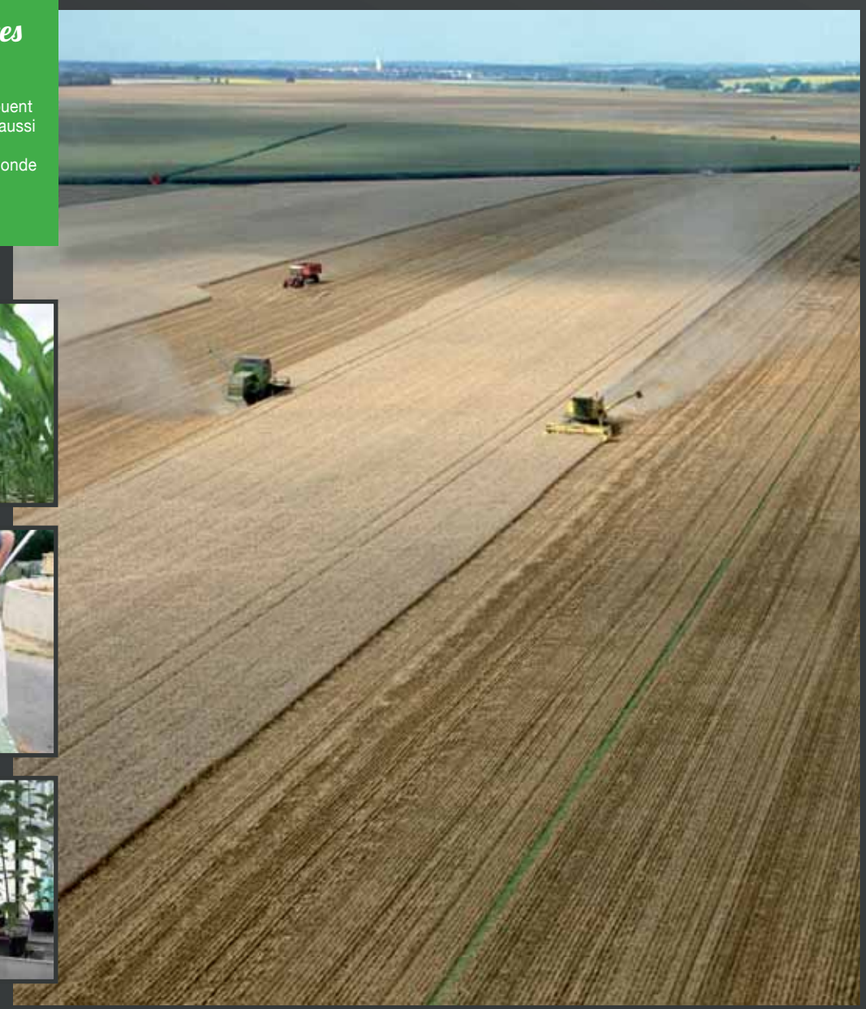
Dans un contexte de changement climatique global, la prise de conscience de la limitation des ressources impose de relever de grands défis à l'échelle mondiale. La recherche environnementale française se mobilise, à travers l'alliance AllEnvi, pour répondre aux grandes questions sociétales qui en découlent. Les enjeux en images.

ALIMENTATION

Nourrir neuf milliards d'êtres humains à l'horizon 2050

Nos systèmes agricoles et alimentaires contribuent au changement climatique, mais en subissent aussi les impacts directs. De nouvelles formes d'agriculture et d'élevage pourront nourrir le monde tout en favorisant la biodiversité, en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, voire en absorbant le CO_2.

Moisson de céréales. © Gérard Paillard/INRA



Pour nourrir 2 milliards de personnes supplémentaires d'ici 2050, les chercheurs aident les agriculteurs à produire plus et mieux.
© IRSTEA

Des systèmes de productions aquacoles durables doivent être mis en œuvre pour répondre à la demande croissante en produits aquatiques.
© Christophe Maître/INRA

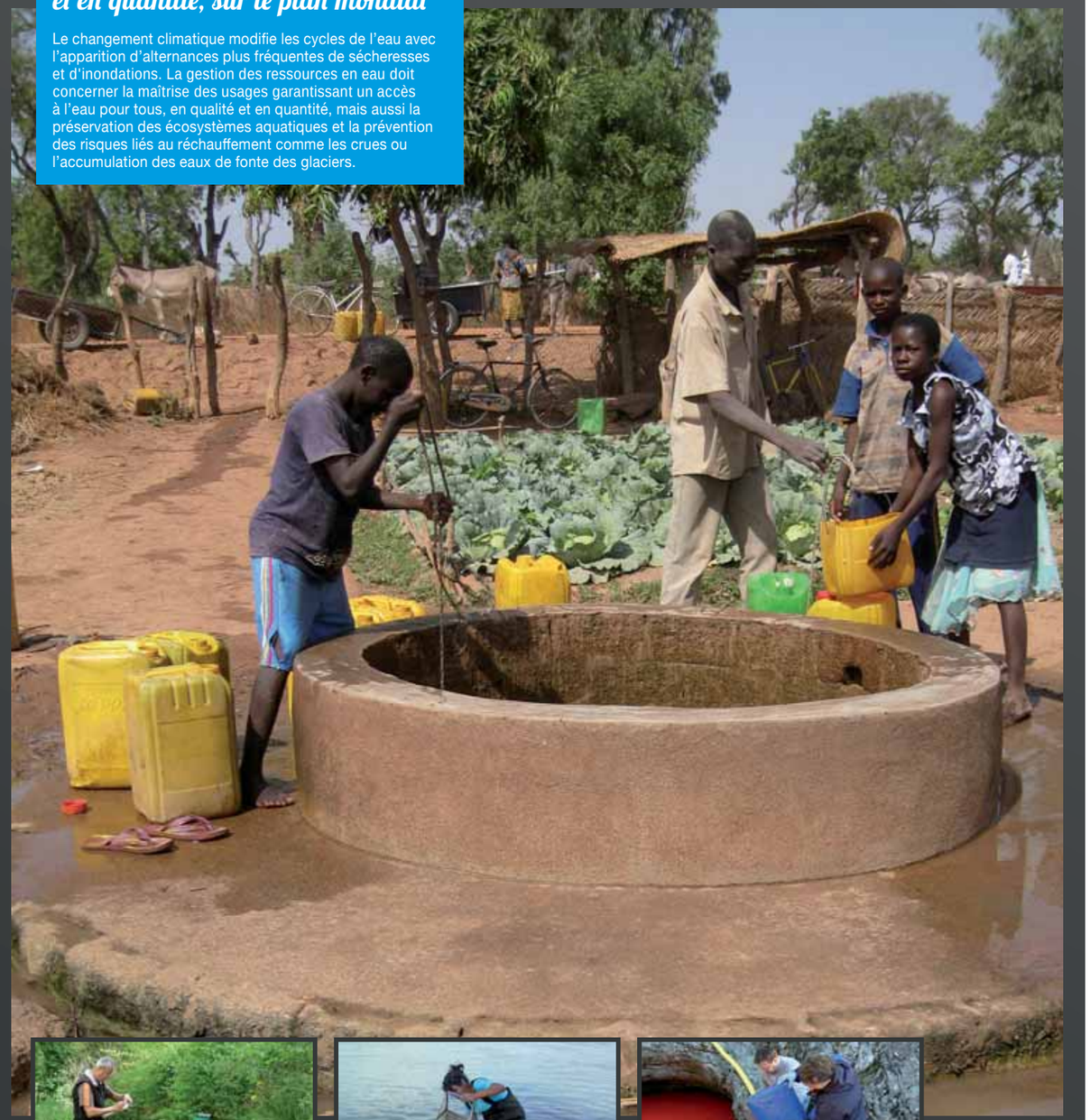
Les scientifiques sélectionnent des variétés de plantes cultivées plus adaptées aux changements climatiques à venir.
© Sylvie Toillon/INRA

EAU ET RESSOURCES

Garantir l'accès à l'eau, en qualité et en quantité, sur le plan mondial

Le changement climatique modifie les cycles de l'eau avec l'apparition d'alternances plus fréquentes de sécheresses et d'inondations. La gestion des ressources en eau doit concerner la maîtrise des usages garantissant un accès à l'eau pour tous, en qualité et en quantité, mais aussi la préservation des écosystèmes aquatiques et la prévention des risques liés au réchauffement comme les crues ou l'accumulation des eaux de fonte des glaciers.

Au Burkina Faso, les jeunes vont chercher l'eau au puits, avec leurs bidons, pour arroser les cultures maraîchères. © Marie-Noëlle Favier/IRD



L'augmentation des températures et de la demande en eau pour différents usages impose d'anticiper des stratégies d'adaptation.
© BRGM

Maintenir la qualité de l'eau est un défi crucial dans un contexte de réchauffement et d'augmentation des polluants.
© Gait Archambaud-Suard/IRSTEA

L'injection d'un traceur sert à suivre le cheminement souterrain de l'eau pour caractériser les systèmes karstiques.
© BRGM

CLIMAT

Prévoir les changements climatiques pour mieux s'adapter

L'augmentation des températures et la modification des précipitations auront un impact sur de nombreux compartiments de la Terre : sol, air, eau. Le changement climatique va alors influencer l'ensemble de la biosphère, y compris l'homme, et induire de nombreux dérèglements. L'homme change le climat : il est urgent de se mettre d'accord sur des mesures d'adaptation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Terre craquelée et reprise de végétation dans le désert de l'outback australien. © Alain Rival/CIRAD

Blanchiment des coraux : en 2040, trois quarts des récifs de la planète pourraient subir ce phénomène dû au réchauffement !

© Thomas Vignaud/CNRS Photothèque

Le réseau d'observation Glacioclim permet de mieux comprendre les relations climat-glacier et leur évolution future.

© Patrick Ginot/IRD

Les maladies émergentes, comme la leishmaniose ou le chikungunya, pourraient être plus nombreuses dans le contexte du réchauffement climatique.

© Vanina Guernier/IRD

Dommages observés dans l'environnement du bâti à Marseille, suite au feu des 22 et 23 juillet 2009.

© Marlène Long/IRSTEA

TERRITOIRES

Respecter l'impératif de qualité environnementale de nos territoires

Évolution du littoral, des milieux naturels continentaux, de l'agriculture… Les impacts du changement climatique concernent tous les territoires. En ville, la santé publique est un enjeu majeur, ainsi que la consommation énergétique globale. En zone rurale, il faut concilier les productions agricoles alimentaires et les différentes formes de production d'énergie, tout en préservant les milieux naturels tels que les forêts.

Les régions de montagne sont plus touchées que les plaines, avec une élévation de température plus forte que la moyenne.

© Michel Meuret/INRA

Élévation du niveau de la mer et tempêtes plus fortes fragilisent les régions littorales comme les falaises de Seine-Maritime.

© Guillaume Bertrand/BRGM

Des recherches mesurent l'impact du changement climatique sur différents aménagements de villes, de précieuses informations pour les urbanistes.

© Pascal Taburet/Météo-France

CHANGEMENT CLIMATIQUE : DES SOLUTIONS CONCRÈTES POUR DES IMPACTS DÉJÀ SENSIBLES

© Ch. Maître/INRA

« La recherche environnementale est essentielle pour éclairer les sociétés, dynamiser l'économie et proposer des solutions durables vis-à-vis du changement climatique. »

Par François Houllier, *président d'AllEnvi*

Nos sociétés font face au défi sans précédent des changements globaux, tout particulièrement à celui du changement climatique. Depuis longtemps déjà, ce dernier est au cœur des recherches menées par les établissements rassemblés depuis 2010 sous la bannière d'AllEnvi pour coordonner leurs travaux dans le domaine de l'environnement (alimentation, eau, climat, territoires). Pleinement mobilisés par le défi climatique, les membres de l'alliance partagent dans cet ouvrage 60 de leurs succès de recherche.

Lors de la COP 21, les dirigeants politiques vont tenter de s'accorder et d'agir pour limiter les émissions de gaz à effet de serre qui sont à l'origine des dérèglements climatiques. Actionnée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), la sonnette d'alarme retentit depuis plusieurs années, et la recherche française a activement contribué à produire des connaissances de plus en plus précises sur les causes, les mécanismes et les impacts des changements climatiques.

Mais le rôle des scientifiques ne se limite pas à lancer des alertes. Depuis longtemps déjà, ils travaillent pour mettre au point des solutions d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques dans tous les domaines. C'est ce dont témoigne cet ouvrage *60 succès de la recherche pour une planète durable.*

Les résultats scientifiques des membres d'AllEnvi débouchent aussi bien sur l'appui aux politiques publiques que sur des innovations et la création de valeur. Car les retombées économiques et sociales de ces recherches sont bien réelles. Gestion durable des ressources en eau, optimisation de la production de méthane à partir de biodéchets, amélioration de la gestion des forêts, modèles et outils d'aide à la décision pour mieux suivre les cultures et prévenir les crises alimentaires sont quelques-uns des exemples concrets d'application de résultats de recherche que vous découvrirez dans ce recueil. //

ILS ONT DIT

LA BIODIVERSITÉ, UN ENJEU FONDAMENTAL

Comprendre la réponse de la biodiversité au changement climatique est un enjeu fondamental, car ses propriétés, fonctionnalités écologiques et potentiel adaptatif sont la base des valeurs et richesses des sociétés : c'est pourquoi, il est indispensable d'observer ses réponses et d'en étudier les mécanismes.

Bruno David, président du MNHN

LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE AU PREMIER PLAN

L'AGRICULTURE DOIT CONTRIBUER À L'AGENDA DES SOLUTIONS POUR CONCILIER LUTTE CONTRE LES DÉRÈGLEMENTS CLIMATIQUES ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE : C'EST UN ENJEU MAJEUR POUR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE MONDIALE.

François Houllier,
président-directeur général de l'INRA

« Les » Sud sont une priorité

Conjuguer la lutte contre réchauffement climatique et développement durable est un impératif premier de la recherche dans les pays du Sud, pour concilier atténuation et adaptation au changement climatique, préservation de l'environnement et réduction des inégalités.

Jean-Paul Moatti,
président-directeur général de l'IRD

Vers de nouveaux services climatiques

NOTRE ENJEU EST DE PRÉPARER L'ÉMERGENCE DE SERVICES CLIMATIQUES, CROISANT LES CONNAISSANCES ACQUISES SUR LE CLIMAT ET LES BESOINS DES DIVERSES CATÉGORIES D'UTILISATEURS, ET OFFRIR UN APPUI AUX POLITIQUES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.

Jean-Marc Lacave,
président-directeur général de MÉTÉO FRANCE

LE SOUS-SOL : UN ATOUT FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les technologies du sous-sol mises au service de la transition énergétique sont aussi utilisées dans l'adaptation au changement climatique : observer et comprendre ses effets sur l'érosion du littoral, la ressource en eaux souterraines, les mouvements de terrain… pour ensuite développer des analyses multirisques conduisant à des stratégies nouvelles pour les territoires et leurs activités.

Vincent Laflèche, président-directeur général du BRGM

POUR DES TERRITOIRES DURABLES

L'UN DES DÉFIS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EST D'INSCRIRE LES TERRITOIRES EUX-MÊMES DANS UNE TRAJECTOIRE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE. CONSÉQUENCE POUR LA RECHERCHE : CELA IMPOSE DES CHANGEMENTS D'ÉCHELLE COMPLEXES.

Jean-Marc Bournigal,
président-directeur général de l'IRSTEA

Il faut une mobilité « peu carbonée »

Le changement climatique appelle un aménagement durable des territoires et le développement d'une mobilité peu carbonée. La complexité des enjeux impose une approche partenariale et transversale, abordant à la fois les problématiques technologiques et les questions liées aux comportements et aux usages.

Jacques Tavernier,
président du conseil d'administration de l'IFSTTAR

Se mobiliser ensemble

Revoir nos modèles de développement et intégrer les dimensions d'écoresponsabilité et d'écocitoyenneté dans chacune de nos décisions et de nos actions : les enjeux sont forts et le défi à relever est ambitieux en ce qui concerne les formations et les recherches liées au changement climatique dans les universités françaises. C'est ensemble qu'elles se mobilisent pour la préservation de notre planète et des générations futures.

Jean-Loup Salzmann,
président de la CPU

UNE CONTRIBUTION ACTIVE À L'ANALYSE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les travaux du CEA et de ses partenaires sur le fonctionnement du climat global et l'impact de ses changements sur la planète ont notamment permis l'élaboration du 5ème rapport du GIEC. Le CEA mène également des recherches pour développer des énergies non émettrices de gaz à effet de serre et améliorer l'efficacité énergétique.

Daniel Verwaerde, administrateur général du CEA

L'océan au cœur du système

L'océan est central dans la « machine climatique ». Les prochaines années, l'enjeu consistera entre autres à comprendre comment les espèces s'adaptent aux changements des masses d'eau en migrant vers les pôles ou en modifiant leurs trajectoires.

François Jacq, président-directeur général de l'IFREMER

L'agriculture directement concernée

Contributrice et impactée, l'agriculture est très concernée par la lutte contre les changements climatiques : la recherche agronomique doit dépasser l'étude des impacts pour viser l'atténuation aussi bien que l'adaptation.

Michel Eddi,
président-directeur général du CIRAD

LES SCIENCES AUX AVANT-POSTES

La 21ème Conférence des parties sur le changement climatique (COP 21) donne l'occasion aux scientifiques, qui s'attachent à comprendre les mécanismes du changement climatique et à en évaluer les conséquences et les impacts, d'occuper le devant de la scène. Des sciences humaines à celles de l'Univers, de l'écologie aux sciences de l'ingénieur, le CNRS mobilise ses instituts pour proposer et partager ses connaissances au sein de la communauté scientifique et avec toutes les composantes de la société.

Alain Fuchs, président du CNRS

DIVISER PAR QUATRE LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

C'est l'ambition que se fixe la France à l'horizon 2050. Initiée au niveau politique en 2013, adossée sur les conclusions du GIEC et d'une mission confiée par le ministère de l'Écologie au climatologue Jean Jouzel, la stratégie de la France en matière de lutte contre le changement climatique passe par d'importants efforts dans la recherche et les infrastructures d'observation. Un projet collectif mené par les membres de l'alliance AllEnvi.

À terme, aucun pays n'échappera au réchauffement climatique. Sur la base des scénarios du GIEC et de leur déclinaison à l'échelle nationale par les climatologues, la recherche française, à travers notamment l'alliance AllEnvi, s'est engagée dans de grandes actions dont l'un des enjeux principaux est de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre (GES), à l'horizon 2050.

De la compréhension des mécanismes climatiques à l'affinement des modèles

La recherche accompagne les secteurs les plus émetteurs de GES, bâtiment et transports, qui sont en première ligne, par des innovations pour concevoir un habitat plus autonome et des modes de transport plus économes et moins émetteurs de CO_2. La recherche développe aussi des innovations pour accélérer la réduction des GES dans les autres secteurs comme l'industrie, l'agriculture et l'exploitation des océans.

Mais en matière scientifique, l'urgence environnementale est un des principes directeurs de la recherche. Avec les objectifs suivants :

→ **comprendre et modéliser l'évolution du climat** à l'aide de l'observation et de la simulation ;
→ **comprendre la réaction du vivant** aux changements du climat en interaction avec les activités humaines et lui assurer une meilleure protection ;
→ **développer les innovations, les écotechnologies et l'écoconception** pour maîtriser les activités productrices de GES et concevoir des produits et des services compétitifs ayant un impact environnemental faible, voire nul ;
→ **assurer l'avenir énergétique sans carbone.**

La mise en œuvre de cette stratégie a été confiée à différentes alliances, dont AllEnvi (Alliance nationale de recherche pour l'environnement) et ANCRE (Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie).

Un système d'observation au niveau mondial

Impliquée dans des programmes d'observation à l'échelle mondiale, la France participe au Système mondial d'observation du climat (SMOC – voir Infographie page 14). L'ensemble des membres d'AllEnvi se mobilisent autour d'infrastructures nationales et européennes. Elles sont dédiées à l'observation et à la fourniture de données sur les grands compartiments du système Terre (atmosphère, océan, surfaces continentales, terre solide), en liaison avec la biosphère. Ces infrastructures sont inscrites sur une feuille de route nationale. Depuis 2010, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a développé un nouveau concept. Les SOERE (Services d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement) ont pour but de favoriser la mise en réseau, au niveau national, de systèmes d'observation pluriorganismes et assurer la diffusion des données produites. AllEnvi est en charge de leur évaluation, leur structuration, leur labellisation et leur suivi. //

CHANGEMENT DU CLIMAT : L'EXPERTISE DU GIEC

Créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a pour mandat « *d'évaluer, sans parti pris et de manière méthodique et objective, l'information scientifique, technique et socio-économique disponible en rapport avec la question du changement du climat* ». Le GIEC a élaboré des scénarios d'évolution climatique sur lesquels s'appuient les décideurs mondiaux pour choisir les politiques publiques qui permettront de réduire le réchauffement du climat.

PROSPECTIVE

21ème SIÈCLE EN FRANCE : PLUS CHAUD ET PLUS EXTRÊME

Sous la forme de données mises à jour régulièrement sur l'évolution du climat en France, les rapports de la mission Jouzel, dont le 4ème est paru en 2014, visent à fournir une analyse du changement climatique en France au 21ème siècle. Et ce à l'aide d'évolutions des anomalies de précipitations et de températures. Deux modèles climatiques régionaux, mis en œuvre au CNRM (Centre national de recherches météorologiques - Météo-France / CNRS) et à l'IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace - CNRS / CEA / Universités) – en collaboration avec l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) – produisent des simulations. Elles s'appuient sur trois des quatre scénarios considérés dans le dernier rapport du GIEC (2013-2014).

> *« Il s'agit ici de fournir une estimation des tendances d'évolution du climat pour le siècle à venir. Les résultats présentés ne doivent pas être interprétés comme des prévisions climatiques exactes pour des points géographiques précis. »*
> Rapport Jouzel

À quoi faut-il s'attendre ?

À L'HORIZON 2021-2050

↗ **Une hausse des températures moyennes,** comprise entre 0,6 °C et 1,3 °C par rapport à la moyenne de référence calculée sur la période 1976-2005. Cette hausse devrait être plus importante dans le sud-est de la France en été, avec des écarts pouvant atteindre 1,5 °C à 2 °C.

↗ **Une augmentation du nombre de jours de vague de chaleur en été,** comprise entre 0 et 5 jours sur l'ensemble du territoire, voire 5 à 10 jours dans des régions du quart sud-est.

↘ **Une diminution des jours anormalement froids en hiver** sur l'ensemble de la France métropolitaine, entre 1 et 4 jours en moyenne, et jusqu'à 6 jours au nord-est du pays.

↗ **Une légère hausse des précipitations moyennes** comprise entre 0 et 0,42 mm/jour en moyenne, avec une forte incertitude sur la distribution géographique de ce changement.

À L'HORIZON 2071-2100

↗ **Une forte hausse des températures moyennes,** notamment dans le sud-est du pays : elle pourrait largement dépasser les 5 °C en été par rapport à la moyenne de référence.

↗ **Une forte augmentation du nombre de jours de vague de chaleur en été,** qui pourrait dépasser les 20 jours pour le scénario RCP8.5 (*Representative Concentration Pathway*).

↘ **La diminution des froids extrêmes se poursuit en fin de siècle.** Elle est comprise entre 6 et 10 jours de moins que la référence dans le nord-est de la France. Elle devrait être plus limitée sur l'extrême sud du pays.

↗ **Une hausse des précipitations hivernales.**

↗ **Un renforcement du taux de précipitations extrêmes.**

↗ **Une augmentation des épisodes de sécheresse** dans une large partie sud du pays, mais pouvant s'étendre à l'ensemble du pays pour l'un des deux modèles.

EN FRANCE D'OUTRE-MER

↗ **Une augmentation de la température** à l'horizon 2100, de l'ordre de 0,7 °C à 3, voire 3,5 °C.

↘ **Une diminution des précipitations moyennes,** en particulier en saison sèche.

↗ **Une activité cyclonique plus intense en début de siècle** (selon les chapitres 11 et 14 du volume 1 du 5ème rapport du GIEC), dans le bassin Nord-Atlantique et une augmentation de la fréquence des cyclones de catégories 4 et 5, dans les bassins Nord-Atlantique et Pacifique Sud-Ouest.

↘ **En fin de siècle, la fréquence globale des cyclones tropicaux devrait diminuer ou rester la même.** Les précipitations moyennes et la vitesse moyenne du vent maximal associées aux cyclones tropicaux augmenteront probablement.

POUR EN SAVOIR PLUS

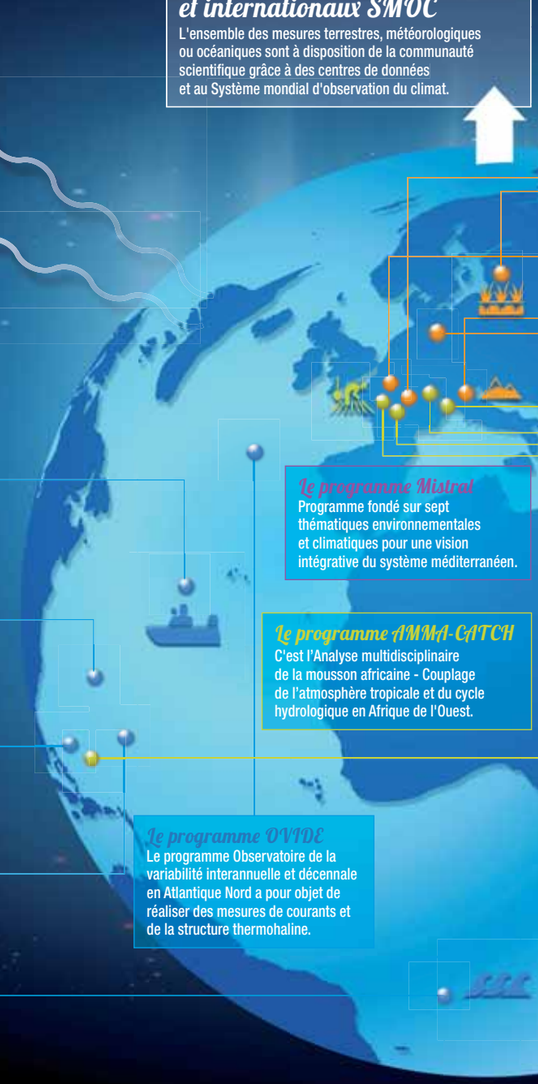
LE CLIMAT DE LA FRANCE AU XXIe SIÈCLE, juin 2014. Rapport dirigé par le Dr Jean Jouzel
> www.developpement-durable.gouv.fr/Volume-5-Changement-climatique-et.html
Le ministère du Développement durable a sollicité, en 2010, l'expertise de la communauté française des sciences du climat afin de produire une évaluation scientifique des conditions climatiques de la France au 21ème siècle. Le Dr Jean Jouzel a été chargé de diriger cette expertise, réalisée par des chercheurs du CNRS, de Météo-France, du BRGM, du CEA, du CETMEF et du CNES. L'ensemble des résultats est accessible sur le portail DRIAS
> http://www.drias-climat.fr/accompagnement/section/31

SIXIÈME COMMUNICATION NATIONALE DE LA FRANCE À LA CONVENTION-CADRE DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (octobre 2013) : investissements faits par la France dans le domaine de la recherche et des infrastructures.

LE FILET GÉANT DES CHERCHEURS

Observatoires, sites instrumentés et d'expérimentation, modèles, simulations… Un filet géant au maillage très fin est tendu autour du globe et s'enrichit de jour en jour grâce à la coopération française, européenne et mondiale des chercheurs. Son but : observer, mesurer, modéliser, comprendre pour mieux anticiper… Survol en images.

L'observation est une clé pour comprendre les raisons et les effets du changement climatique. Un filet géant est tendu sur l'ensemble du globe et observe, à long terme, depuis l'espace ou la terre, les continents et leur surface, les océans et l'atmosphère… L'ensemble des outils à la disposition des scientifiques se déploie pour scruter les sols, les prairies et les forêts, l'eau dans les rivières, le sous-sol ou les glaces… Ballons, avions, bateaux, engins marins flottants ou immergés permettent également le déploiement de ces observations dans les airs et dans les mers pour y mesurer les paramètres météorologiques, les gaz à effet de serre (GES) ou encore l'acidification des océans. Sans oublier l'espace, d'où les satellites scientifiques scrutent le globe sous toutes ses coutures. L'observation, qui va du local à l'échelle du globe, est systématique et se déploie sur des décennies. Les données collectées, rassemblées et exploitées par les chercheurs sont partagées à l'échelle internationale et à disposition de tous : citoyens, décideurs, acteurs économiques et sociaux. Elles permettent d'améliorer la compréhension des changements atmosphériques, océaniques et terrestres, et ainsi d'établir des scénarios sur le climat et le réchauffement, avec pour objectifs : l'adaptation et l'atténuation. La France est en pointe grâce à son réseau d'infrastructures de recherche et d'observation, représenté dans cette infographie.



Observation spatiale

Copernicus
Un système de surveillance tant au niveau local que global pour l'environnement et la sécurité.

> Voir la vidéo
www.dailymotion.com/video/x232i30_space-live-4-les-sentinelles-de-la-terre_tech

Les constellations CEOS
Le CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*) coordonne l'action des agences spatiales en observation de la Terre, dont le CNES. Il fournit une réponse coordonnée sur les données.

Centres de données nationaux et internationaux SMOC
L'ensemble des mesures terrestres, météorologiques ou océaniques sont à disposition de la communauté scientifique grâce à des centres de données et au Système mondial d'observation du climat.

Observation de l'atmosphère vue du ciel

Les avions SAFIRE et IAGOS
Des avions, fortement instrumentés pour observer finement les processus atmosphériques (SAFIRE), sont complétés par des mesures réalisées sur des avions de ligne équipés de capteurs standards (IAGOS).

La Banque de données du sous-sol pour la France
La BSS, Banque du sous-sol gérée par le BRGM, est une base renseignant sur près de 700 000 forages et travaux souterrains menés depuis plus d'un siècle.

Le programme Fluxnet
Le but de ce programme européen est d'améliorer nos connaissances sur l'importance, la localisation et l'évolution temporelle des puits et des sources de carbone.

Observation de la Terre

Les réseaux SOERE des rivières et des forêts
Mesure des variables comme la chimie des rivières, les précipitations, le débit des ruisseaux, rivières et fleuves, l'eau dans les sols ; les stocks et flux de carbone, la production de bois énergie.

Le réseau d'observation des tourbières
L'observation des tourbières est organisée autour de la mesure de flux de carbone et dans le cadre de l'évolution du permafrost.

L'observation GLACIOCLIM
Le service d'observation étudie le fonctionnement des glaciers des Alpes, des Andes et de l'Antarctique pour constituer une base de données.

Observation de l'océan

Les navires
Outre les navires permanents de la Flotte océanique française, il existe les navires d'observation occasionnels SOOP (programme de 17 vaisseaux avec l'IRD et le CNRS) et les navires d'observation volontaire VOS (67 vaisseaux pour la France en 2012 avec le programme d'observation de l'OMM).

Le réseau Argo
Argo France regroupe l'ensemble des activités françaises associées au réseau international Argo de mesures in situ de la température et de la salinité à partir de flotteurs, dans le cadre d'un projet d'océanographie.

Les bouées Pirata
Réseau de bouées de mesures météo-océaniques, coordonnées par l'IRD, Météo-France et le CNRS, pour étudier le forçage et le couplage entre l'atmosphère et l'océan (Atlantique tropical).

Les bouées dérivantes
Météo-France déploie régulièrement des bouées pour mesurer la pression atmosphérique, la température de surface de la mer et le vent ou la température de la mer en profondeur jusqu'à 300 m.

Les marégraphes GLOSS
Les réseaux de marégraphes français contribuent au Système mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS). Ils fournissent des données de hauteur de niveau des mers utiles pour la circulation générale de l'océan et pour la surveillance du climat.

Le programme Mistral
Programme fondé sur sept thématiques environnementales et climatiques pour une vision intégrative du système méditerranéen.

Le programme AMMA-CATCH
C'est l'Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine - Couplage de l'atmosphère tropicale et du cycle hydrologique en Afrique de l'Ouest.

Le programme OVIDE
Le programme Observatoire de la variabilité interannuelle et décennale en Atlantique Nord a pour objet de réaliser des mesures de courants et de la structure thermohaline.

Observation de l'atmosphère au sol

Les stations ICOS
Disséminées sur tout le territoire européen, les stations ICOS analysent les flux de gaz à effet de serre. RAMCES-ICOS mesure les concentrations atmosphériques de GES.

Les réseaux Météo-France
Météo-France occupe une place centrale dans le dispositif d'observation systématique. 554 stations couvrent uniformément la métropole.

Les stations Guam
Outre-mer, le nombre de stations d'observation Météo-France s'élève à 67.

Le réseau GAW
Le réseau *Global Atmosphere Watch* ou Veille de l'atmosphère globale (VAG), géré par Météo-France, concerne les mesures physico-chimiques de l'atmosphère.

Les réseaux de crowdsourcing
Météo-France a constitué un Réseau climatologique d'État (stations et postes bénévoles de mesures) avec des marins, des militaires, des agronomes, des agriculteurs…

© Infographie : Nathalie Hourcade – Photos : F. Rhodes/CEA ; DR

LE CLIMAT SIMULÉ ET ANALYSÉ

Un bref tour d'horizon des connaissances sur le climat et son évolution, l'état des recherches, les diagnostics, les observations à travers quelques résultats emblématiques...

La recherche sur le climat est très diversifiée et menée à l'interface avec de nombreuses autres disciplines, dont elle bénéficie des retombées. Il existe une véritable mobilisation collective de la communauté scientifique française. Différents modèles climatiques simulent les échanges entre l'atmosphère, l'océan et les surfaces continentales à différentes résolutions et avec différentes approches. Les couplages entre « océan et climat » font notamment l'objet d'une plateforme de modélisation dédiée. Voici quelques directions emblématiques de ces travaux.

Modélisation >>> Pour comprendre le fonctionnement du système climatique et en prévoir des évolutions, la modélisation du climat permet par exemple de reproduire les variations passées avant l'impact des activités humaines, aux échelles des temps géologiques. Une autre approche consiste à augmenter la résolution spatiale des modèles de façon à étudier les liens entre le climat global et les effets régionaux et locaux. La modélisation permet enfin de simuler le climat futur. Les modèles climatiques sont alors couplés à des modèles socio-économiques d'adaptation au changement climatique.

CNRS CEA MÉTÉO FRANCE

Étude des impacts >>> Un consortium de scientifiques a étudié les impacts d'un réchauffement global de 2 °C en Europe. Une valeur prévue pour 2050, voire avant ! D'après leurs analyses, ce continent sera nettement affecté par la hausse des températures. Il faut s'attendre à des hivers plus rigoureux (avec 20 % de précipitations pluvieuses en plus), au nord-est, et des étés plus chauds (sécheresses plus marquées), autour de la Méditerranée.

CEA CNRS MÉTÉO FRANCE

Simulation >>> Pour anticiper ces évolutions, les chercheurs mènent des travaux de simulation du climat en lien avec les événements extrêmes. Une découverte essentielle a été la mise en évidence du lien entre CO_2 et température, grâce à des études sur les carottes de glace. Ces avancées permettent de proposer des simulations pour le 21ème siècle.

CEA CNRS MÉTÉO FRANCE

Innovation >>> Autre méthode d'évaluation novatrice de l'effet du réchauffement climatique sur les écosystèmes : la biogéographie fonctionnelle. Cette nouvelle science relève un défi important, à savoir comprendre l'impact du changement climatique sur la productivité des prairies, le stockage de gaz carbonique dans les forêts ou la durabilité des récifs coralliens.

CNRS INRA //

ARGO : CONNAÎTRE LA CIRCULATION MARINE

Avec 3 000 flotteurs autonomes à travers les océans, le programme international ARGO permet de mesurer en temps réel la température et la salinité des océans. Parmi les premiers résultats obtenus : une estimation du stockage de chaleur par les océans ou encore un éclairage sur la formation des eaux profondes en hiver dans les régions polaires.

IFREMER CNRS SHOM CNES IRD MÉTÉO FRANCE IPEV

SUIVRE LE CARBONE À LA TRACE

Visualiser les émissions de CO_2 et comprendre le cycle du carbone sont indispensables pour tenter de limiter les émissions futures à un maximum cumulé de 1 200 milliards de tonnes de CO_2. En 2013, l'étude du *Global Carbon Project* montre que les émissions globales de CO_2 continuent de progresser.

CEA CNRS INRA

DONNÉES CLIMATIQUES À PORTÉE DE CLIC

Le portail « Drias les futurs du climat » permet à tout un chacun d'avoir accès aux données régionalisées des projections climatiques : nombre de nuits anormalement chaudes, nombre de jours de gel ou de canicule... MÉTÉO FRANCE CNRS CEA

EN BREF

Quid des aérosols sulfatés ?

L'observation des aérosols, des nuages et des gaz traces dans l'atmosphère nécessite des équipements et des mesures spécifiques regroupés dans l'infrastructure ATMO. La prise en compte de la diminution des aérosols sulfatés dans les modèles conduit, par exemple, à proposer une augmentation plus importante du rayonnement solaire reçu en surface, en Europe et en Méditerranée, et donc une augmentation de la température.

CNRS CEA MÉTÉO FRANCE

Du méthane dans les mares

Les mares nordiques, formées en été par le dégel en surface du pergélisol arctique, produisent une grande quantité de méthane, un gaz à effet de serre. Et les mares les plus petites sont les plus actives dans cette production !

CNRS

Des forages dans la glace

La station franco-italienne Concordia est une des trois stations permanentes de l'Antarctique. Dans le cadre du programme EPICA, les forages qui y sont réalisés permettent de décrypter, grâce aux carottes glaciaires, les climats du passé, en remontant jusqu'à 800 000 ans.

IPEV

Variabilité des masses d'eau

Le projet OVIDE observe les courants et les propriétés des masses d'eau du tourbillon subpolaire de l'Atlantique Nord. Des campagnes en mer et des études en modélisation sont menées entre le Groenland et le Portugal.

IFREMER CNRS

18 BIODIVERSITÉ — COMPRENDRE LA BIODIVERSITÉ POUR MIEUX LA GÉRER
20 | Cartographie des récifs coralliens - Lutte contre le blanchissement

22 AGRICULTURE ET ALIMENTATION — NOURRIR LE MONDE
24 | Mieux suivre les cultures pour prévenir les crises alimentaires | 26 | Adapter la vigne et le vin

30 MER — OBSERVER LES OCÉANS
31 | L'inquiétante acidification des océans

32 EAU — GÉRER LES RESSOURCES EN EAU
34 | L'eau souterraine vue depuis l'espace | 36 | Irrigation : nouvelles technologies pour consommer mieux et moins

38 MALADIES ÉMERGENTES — PRÉVENIR LES MALADIES ÉMERGENTES
40 | Paludisme aviaire - Prédire l'infection | 41 | Maladies infectieuses : quels nouveaux risques demain ?

SUCCESS STORIES

42 FORÊTS — PRÉSERVER LES FORÊTS
43 | Menace sur la forêt tropicale

44 ÉNERGIES — FAIRE ÉVOLUER NOS BESOINS ÉNERGÉTIQUES
46 | Économiser et conduire, c'est possible ! | 48 | Déchets organiques - Une nouvelle bioressource

50 TERRITOIRES ET VILLES — AMÉNAGER LES VILLES
52 | Comment adapter nos villes au changement climatique

54 ATTÉNUATION — RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES
55 | Capter et stocker le CO_2

56 LITTORAL — SAUVEGARDER LE LITTORAL
57 | Comment s'adapter aux conséquences de l'irréversible montée des eaux

58 RISQUES — ANTICIPER LES RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
60 | À la recherche de l'eau perdue sous les glaciers

Papilio demoleus malayanus (Lépidoptère de la famille des Papilionidae) sur fleurs en train d'aspirer du nectar.

© Jean-Yves Meuner/IRD

COMPRENDRE LA BIODIVERSITÉ POUR MIEUX LA GÉRER

La compréhension des mécanismes de réponse de la biodiversité au changement climatique permet la construction de stratégies d'adaptation et l'évaluation de leur pertinence environnementale et sociétale.

La pression des activités humaines menace la diversité biologique et perturbe ses capacités d'évolution et d'adaptation avec des conséquences graves, y compris sur le plan des « services » que les sociétés humaines retirent de la biodiversité. L'un des enjeux fondamentaux de l'adaptation au dérèglement climatique est la capacité des écosystèmes à conserver leur résilience. Il en va du devenir des sociétés humaines qui sont dépendantes des services écosystémiques.
Pour **anticiper et orienter les actions à mener,** il faut décrire et comprendre la biodiversité, son fonctionnement et ses facteurs d'évolution. Les mécanismes de réponse de la diversité biologique passée aux changements climatiques fournissent des indicateurs pour les écosystèmes actuels. Caractériser la dynamique des écosystèmes terrestres, aquatiques ou marins, des écosystèmes sensibles, insulaires et de montagne, sous l'effet des perturbations liées aux changements globaux, fournit les bases pour comprendre et faciliter leur résilience. Élaborer des scénarios du futur de la biodiversité est un objectif majeur des recherches.
La recherche sur la biodiversité fournit les connaissances requises pour anticiper, accompagner et gérer ses changements en interaction avec les sociétés humaines, et prendre collectivement les décisions assurant la durabilité des systèmes dans un contexte de changements globaux.

Les coraux font partie des premiers animaux à avoir peuplé les mers et les océans.

© DR

FOCUS

CARTOGRAPHIE DES RÉCIFS CORALLIENS

LUTTE CONTRE LE BLANCHISSEMENT

QUOI

PROTÉGER LES CORAUX MENACÉS PAR LE RÉCHAUFFEMENT

Face au blanchissement progressif et très alarmant des récifs coralliens, des chercheurs ont cartographié les zones à risques en fonction de la hausse des températures.

CNRS

Le blanchissement des coraux est un phénomène très alarmant. Conséquence spectaculaire de la hausse des températures atmosphériques, c'est l'une des principales menaces qui pèsent sur les récifs coralliens. Océan Atlantique occidental, mer des Caraïbes, océans Pacifique et Indien, péninsule Arabique ou mer Rouge : à partir des années 1980, pratiquement toutes les grandes régions coralliennes ont subi ce processus qui s'est ensuite aggravé, dans les années 1990, avec la transformation de nombreux récifs.

La mort du corail à partir de 30 °C

Concrètement, le blanchissement se traduit par la disparition des algues symbiotiques qui vivent dans les tissus des polypes des coraux. Il s'agit d'un phénomène de « stress » provoqué par une hausse des températures océaniques, généralement au-delà de 30 °C sur des périodes de quelques semaines, pouvant alors entraîner la mort de l'animal. Si rien n'est fait pour enrayer la hausse des températures atmosphériques, en 2040 les trois quarts des récifs coralliens de la planète subiront des phénomènes de blanchissement au moins une fois par an. En 2056, c'est même la totalité des récifs qui sera concernée, s'inquiète le milieu scientifique.

Afin de lutter contre cette disparition programmée, des chercheurs français associés à des collègues américains viennent d'établir une cartographie des zones à risques sur la base des dernières projections climatiques du GIEC, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

« Ce phénomène, lié à l'expulsion de l'algue-hôte qui nourrit le corail et lui donne sa couleur, se produit lorsque la température de l'eau dépasse 30 °C durant deux à quatre semaines consécutives », explique Serge Planes, coauteur de l'étude sur le sujet parue dans la revue *Nature Climate Change.* Un blanchissement qui a comme conséquence d'entraîner la mort du corail dans 15 à 60 % des cas, selon les espèces.

La France directement concernée

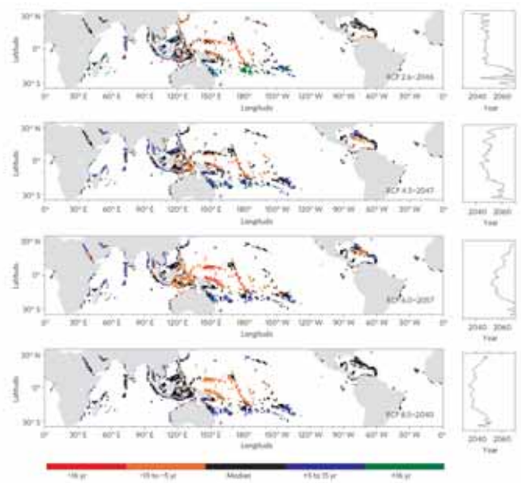
Pour modéliser l'élévation des températures océaniques et prédire les phénomènes de blanchissement, les chercheurs se sont appuyés sur les dernières projections du GIEC, qui prévoient une hausse de 1 à 3 °C de la température atmosphérique d'ici à 2050.

Les récifs les plus fragiles, qui seront touchés par ces phénomènes de blanchissement annuel dès 2025-2030, se trouvent notamment au nord-ouest de l'Australie, aux Philippines et en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Les zones moins fragiles, qui ne devraient pas être impactées avant 2056, incluent la Grande Barrière de corail en Australie et la Polynésie française. Avec près de 4 % de la surface mondiale de récifs coralliens, répartis dans tous les océans, n'oublions pas que la France est directement concernée…

> *« Les récifs vont changer et les espèces dominantes d'aujourd'hui ne seront probablement pas celles de demain. »*

« Il reste difficile de prédire comment le corail s'adaptera à la modification des équilibres actuels, nuance Serge Planes. *Les récifs vont changer et les espèces dominantes d'aujourd'hui ne seront probablement pas celles de demain. »*

D'ailleurs, de récents travaux de recherche estiment que les espèces de coraux les plus résistantes à la hausse thermique, avec le meilleur taux de croissance ou la plus longue longévité, s'en sortiront mieux. L'écosystème sous-marin dévoilera donc un visage différent sans que les scientifiques sachent avec certitude si celui-ci sera à même de nourrir les espèces qu'il abrite. Le mystère des fonds marins… //



© Jeffrey Maynard

Quatre scénarios de blanchissement des coraux sur une tranche de latitudes, avec des prévisions entre 2040 et 2060 et en fonction de l'augmentation de températures. Les cartes montrent les années pour lesquelles les récifs commencent à subir le blanchissement (échelle colorée).

POUR EN SAVOIR PLUS

R. van Hooidonk, J.A. Maynard et S. Planes (2013), **TEMPORARY REFUGIA FOR CORAL REEFS IN A WARMING WORLD,** in *Nature Climate Change.* Vol. 3, p. 508-511. [En ligne le 24 février 2013].

> **criobe.pf/moorea**

EN BREF

Aménager le territoire avec la Trame verte et bleue

Comment faciliter la circulation des espèces dans leurs zones vitales malgré le changement climatique ? C'est là tout ***l'objectif des « trames vertes et bleues »*** *construites au niveau régional, dans le cadre du* ***Grenelle de l'environnement et*** *de la stratégie de création des aires protégées en France. Ainsi,* ***des « continuités écologiques »*** *ont été identifiées pour les milieux ouverts thermophiles, et un certain nombre de travaux visent à mieux comprendre le rôle des aires protégées vis-à-vis du changement climatique.*

MNHN IRSTEA

Mieux comprendre l'adaptation des espèces au changement climatique

Le changement global, sous ses multiples formes, affecte le fonctionnement des écosystèmes marins et continentaux. Les chercheurs travaillent, entre autres, sur les effets d'une exposition des larves de certains poissons (soles, bars) à des milieux plus chauds et moins oxygénés : les adultes issus de ces larves montrent des changements physiologiques majeurs. Objectif : comprendre et anticiper les adaptations des espèces aux eaux plus chaudes.

IFREMER

CLIMIT : protéger les habitats des papillons

Le projet européen CLIMIT (CLimate change impacts on Insects and their MITigation) ***met en avant l'importance de la*** *création et de la préservation des prairies pour les insectes, et notamment les pollinisateurs.* ***L'hétérogénéité des habitats facilite l'adaptation des*** *espèces. Ces résultats ont servi à établir des recommandations pour les décideurs politiques et autres parties prenantes (gestionnaires, agences environnementales…).*

MNHN

Une grande invasion biologique pour 2100 ?

Les invasions biologiques ***(arrivées d'une nouvelle espèce*** *végétale ou animale sur un lieu éloigné de son habitat naturel) sont l'une des plus grandes menaces pesant sur la* ***biodiversité. L'Union*** *internationale pour la conservation de la nature a même défini* « 100 espèces invasives parmi les pires à travers le monde », *dont le frelon asiatique, le moustique-tigre, le ragondin ou encore* ***l'ambroisie. Une équipe*** *scientifique vient de montrer que le changement climatique et les changements d'occupation des sols (déforestation, étalement urbain, agriculture…) peuvent conduire à un bouleversement important dans la distribution spatiale de ces espèces invasives d'ici à 2100 !*

CNRS

Fonte des glaciers = 40 % de faune aquatique en péril

Alors que le dégel se poursuit dans le monde entier, la richesse des écosystèmes de montagne est en péril. Des chercheurs ont révélé que la disparition des glaciers entraînerait l'extinction de 10 à 40 % de la faune aquatique, selon les régions. Les écologues ont étudié la biodiversité des ruisseaux issus des eaux de fonte dans les Andes, entre 3 500 et 5 000 mètres : la disparition des espèces qui peuplent ces cours d'eau en milieux extrêmes constituerait une perte en termes de conservation d'écosystèmes uniques au monde.

IRD

© Olivier Dangles/IRD

Réserve naturelle de l'Antisana, Équateur, où nombre d'espèces animales protégées sont menacées d'extinction, comme le célèbre condor des Andes.

L'évaluation des ressources génétiques traditionnelles du riz est une source de découvertes pour protéger la riziculture.

NOURRIR
LE MONDE

Le changement climatique a un effet majeur sur la production agricole. L'organisation globale des systèmes alimentaires est concernée. Des solutions existent aussi bien pour adapter la consommation que pour produire plus et de façon plus responsable. Les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture peuvent être limitées par de bonnes pratiques.

L'impact du climat est direct et immédiat sur les récoltes. Agriculture et climat sont intrinsèquement liés. Dans le contexte d'une augmentation des températures, d'une tension sur l'eau et d'une fréquence plus grande des phénomènes météorologiques extrêmes, les crises alimentaires augmenteront si aucune action concrète n'est menée. Des **modèles nouveaux et diversifiés de consommation** peuvent apporter des réponses. C'est la société dans son ensemble qui est concernée.
Le premier des objectifs est de **repenser l'agriculture au niveau mondial** pour répondre aux **besoins alimentaires** de toute la population. Côté consommation, mieux appréhender la volatilité des prix sur les marchés mondiaux, affiner la prévision des récoltes dans les zones sensibles, diminuer les pertes et gaspillages, anticiper les stocks et gérer les pénuries, préserver l'accès à la terre figurent parmi les pistes à étudier. Sans oublier la dimension nutritionnelle de l'alimentation et la préservation des écosystèmes. Les scénarios du groupe de prospective Agrimonde (Agricultures et alimentations du monde en 2050) se sont intéressés à l'impact de la réduction de 30 % de la consommation de viande et d'une diminution des pertes et gaspillages. Le comportement des consommateurs apparaît comme un facteur clé.
Le second objectif est de **repenser les modes de production, s'adapter aux stress biotiques et abiotiques résultant du changement climatique, mais aussi diminuer les émissions de gaz à effet de serre** (GES) et contribuer à stocker du carbone. Pour cela, des travaux de recherche permettent par exemple de quantifier les incertitudes sur les rendements futurs des cultures et des prairies, d'autres concernent l'adaptation génétique des bovins dans la zone méditerranéenne. Des mesures sont proposées pour réduire les émissions de GES de l'agriculture française : réduction des engrais, choix des variétés, pratiques culturales avec des engrais non azotés, diminution des émissions de méthane des ruminants. De même, à l'international, la recherche s'efforce de concevoir et évaluer des pratiques à la fois plus productives, limitant les émissions de gaz à effet de serre et contribuant au stockage du carbone.

© François Carter-Soulages/IRD

© Jacques Charteteau/CIRAD

FOCUS

MIEUX SUIVRE LES CULTURES POUR PRÉVENIR LES CRISES ALIMENTAIRES

Paysannes dans les champs de sorgho pour participer à la sélection des variétés (centre du Burkina Faso).

QUOI

AMÉLIORER LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET CRÉER DES ALERTES PRÉCOCES

Depuis les années 1980, des chercheurs ont développé un modèle informatisé de simulation et de suivi des cultures annuelles pour estimer notamment l'impact d'un scénario climatique et prévoir les rendements des cultures. La dernière version du modèle SARRA-H s'applique désormais aux pays d'Afrique de l'Ouest. Elle pourrait servir de système d'alerte précoce pour la prévention des crises alimentaires.

CIRAD

Évaluer les dates de semis, suivre les cultures pas à pas et la disponibilité hydrique, prévoir les rendements potentiels… Voici quelques-uns des atouts signés SARRA-H (Système d'analyse régionale des risques agroclimatologiques, version H), un modèle original de suivi des cultures que plusieurs équipes de scientifiques français développent depuis une trentaine d'années. Particulièrement adapté aux enjeux globaux du changement climatique et de la sécurité alimentaire, ce modèle, lancé dans les années 1980, semble faire la preuve de son efficacité. D'ailleurs, sa dernière version, en trois langues (français, anglais et portugais), est disponible depuis 2014. Ce travail d'envergure a donné lieu à des applications variées dans les pays partenaires de la France en la matière.

> *« Estimer et prévoir les biomasses et le rendement potentiel pour, in fine, mieux gérer les cultures en prévision de crises alimentaires que le réchauffement climatique pourrait exacerber. »*

Une application dans 17 pays d'Afrique de l'Ouest

SARRA-H intègre ainsi, depuis peu, de nouvelles améliorations, spécifiques aux problématiques d'un système d'alerte précoce des pays d'Afrique de l'Ouest, pour prévenir les crises alimentaires. Sur la base de ce modèle, les équipes de chercheurs sont à même de fournir un suivi hydrique, les états des cultures ainsi que des prévisions de rendements.

Depuis 2013, une série de formations à la nouvelle version du modèle SARRA-H est proposée par l'AGRHYMET, en partenariat avec les équipes françaises et l'appui de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Pas moins de 17 pays d'Afrique de l'Ouest sont concernés.

Au Brésil, la nouvelle version SARRA-H est maintenant appliquée au projet TOSCA (*Tracking Oil Spills & Coastal Awareness network*), en lien avec la technique du semis direct et de la culture du soja. Mais aussi dans le cadre du projet européen SIGMA (*Stimulating Innovation for Global Monitoring of Agriculture and its impact on the environment*). Le gouvernement brésilien s'est emparé du modèle afin de mettre en place une politique publique de gestion de crédits sécurisés destinés aux producteurs. En vigueur depuis près de 20 ans, cette politique a mené au doublement de la production et à des économies considérables pour le pays.

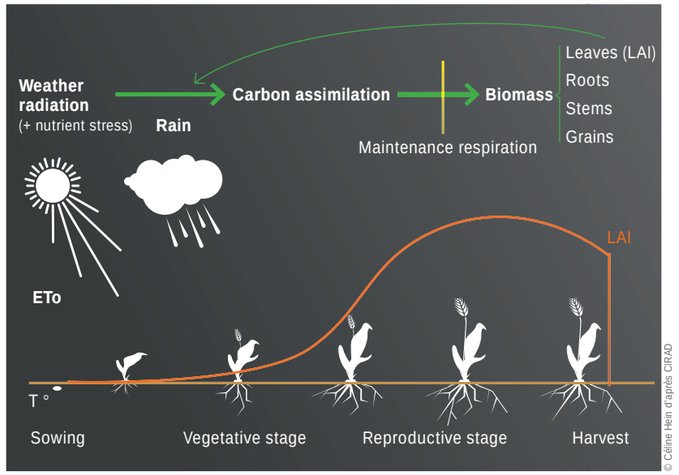
Analyser l'impact du climat sur la croissance des céréales

Véritable outil de simulation de la croissance des cultures, SARRA-H est en fait une évolution de la suite logicielle SARRA, utilisée pour estimer l'impact d'un scénario climatique sur une culture annuelle. La version SARRA-H est plus spécifiquement adaptée à l'analyse d'impact du climat sur la croissance des céréales sèches, telles que mil, sorgho, maïs et riz pluvial, cultivées en Afrique de l'Ouest, ainsi que le soja. Pour ce faire, différents processus (bilan hydrique des sols, évaporation et transpiration potentielle et réelle, phénologie, assimilation potentielle et sous contrainte hydrique, respiration de maintenance et répartition des biomasses) permettent de simuler le rendement potentiel de ces cultures en privilégiant des approches simples et robustes.

Fort de ses bonnes performances en la matière, ce logiciel est calibré avec une série de variétés locales et modernes de mil, de sorgho et de maïs. Les essais sont développés en milieux contrôlés. Pour évaluer la qualité prédictive du modèle, de nombreux suivis agronomiques ont été menés sur plusieurs années en milieu paysan. Les sites sélectionnés, au Niger, au Sénégal, au Mali et au Burkina Faso, sont impactés aussi bien par les pratiques agricoles que par le climat.

Au final, une série de scénarios représentatifs des pratiques agricoles a pu voir le jour. Différentes variétés ont également été mises en exergue. Par exemple, les cultivars locaux de sorghos et de mils, qui se distinguent par une forte sensibilité à la photopériode, ont fait l'objet d'études spécifiques débouchant sur un module intégré au modèle.

Sur le plan technique, SARRA-H se présente comme *« un modèle déterministe et modulaire de croissance des cultures à l'échelle de la parcelle à la région »*, expliquent les équipes. Il intègre trois grands processus au sein d'une même boucle journalière : un bilan hydrique, un bilan carbone (la biomasse) et la phénologie végétative.



© Céline Hein d'après CIRAD

Le modèle intègre trois grands processus au sein d'une même boucle journalière : bilan hydrique, bilan carbone (biomasse) et phénologie.

CLIMAT (contrainte)	PARCELLE (sol)	PRATIQUES AGRICOLES (stratégies)
▪ Évapotranspiration ▪ Température ▪ Rayonnement ou Insolation ▪ Pluie Pas de temps journalier	▪ Typologie (argileux, sableux…) ▪ Profondeur maximum ▪ Profondeur réservoir de surface	▪ Espèce, Variété ▪ Date/stratégie de semis ▪ Densité semis ▪ Irrigation ▪ Niveau de fertilité

Le modèle fonctionne avec un jeu simple de données d'entrées permettant de multiples scénarios de simulations, comme le montre le tableau ci-dessus.

© Patrick Duguié/CIRAD

Avec SARRA-H, les paysans du Burkina Faso peuvent simuler leurs rendements de sorgho.

... Objectifs : estimer et prévoir les biomasses et le rendement potentiel

Grâce à leur réseau de partenaires, au Nord et surtout au Sud, les équipes de scientifiques, représentées par des disciplines telles que la météorologie, la climatologie, la télédétection ou encore la modélisation, ont réussi à développer un modèle pertinent en milieu tropical : paramétrage efficient, conceptualisation des processus, environnement et interfaces adaptés aux acteurs. Le tout visant aux mêmes objectifs : estimer et prévoir les biomasses ainsi que le rendement potentiel, dans l'espoir de mieux gérer les cultures et, ainsi, éviter une éventuelle crise alimentaire exacerbée par le réchauffement climatique.

L'enjeu des stratégies de semis

Dans ce contexte, les applications sont nombreuses. Outre la sécurité alimentaire, ce modèle permet de suivre l'état des cultures en cours de saison et de prédire les rendements potentiels pour un système d'alerte précoce. SARRA-H permet également de vérifier si les stratégies paysannes sont bien adaptées à l'environnement local. Par exemple, les stratégies de semis se révèlent être un enjeu de taille (estimation des risques selon des semis tardifs ou précoces, simulation des dates de semis ou encore mortalité juvénile). Enfin, ce modèle permet de travailler sur les stratégies d'autosubsistance ou d'intensification, ainsi que sur l'optimisation de la ressource en eau.

Autant d'atouts qui font de SARRA-H un outil majeur pour améliorer la sécurité alimentaire et créer des alertes précoces. //

POUR EN SAVOIR PLUS

> http://sarra-h.teledetection.fr
> http://sarra-h.teledetection.fr/Doc/Manuel_SARRA-H_en_cours.pdf

Pour visualiser la vidéo SARRA-H : suivre les cultures pour mieux anticiper les risques.

FOCUS

ADAPTER LA VIGNE ET LE VIN

QUOI

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE POURRAIT BOULEVERSER LE VIGNOBLE FRANÇAIS

Les chercheurs du projet LACCAVE étudient les différentes solutions pour littéralement sauver le vignoble français face au réchauffement climatique. Ils explorent notamment la possibilité de déplacer les vignes...

INRA

Avancée des dates de vendanges, stress hydrique plus marqué pour la vigne, vins plus alcoolisés, moins acides, avec de nouveaux profils aromatiques… Voilà les premières conséquences du changement climatique sur la viticulture et les vins français. Il y a bel et bien urgence ! Nos vignobles, tels que nous les connaissons, pourraient bien faire face à de sérieuses difficultés… voire disparaître pour certains d'entre eux, à l'aune du réchauffement climatique. Et ce, dans quelques décennies seulement. Car ces effets vont s'amplifier, avec des conséquences positives ou négatives, variables selon les vignobles. C'est pourquoi une équipe de chercheurs français, réunie autour du projet LACCAVE (*Long term impacts and Adaptations to Climate ChAnge in Viticulture and Enology,* 2012-2015), étudie les stratégies d'adaptation du vignoble français au changement climatique.

Le projet rassemble 23 laboratoires de recherche, répartis dans toute la France. Leurs objectifs sont d'évaluer les effets du changement climatique sur la vigne et le vin, explorer les stratégies d'adaptation et proposer des scénarios pour les régions viticoles françaises. L'approche est pluridisciplinaire car elle mobilise des travaux de climatologie, génétique, écophysiologie, agronomie, œnologie, économie, sociologie… De multiples solutions se font ainsi jour.

Relocaliser les vignes

La première d'entre elles s'intéresse à la relocalisation des vignes en fonction des innovations possibles, depuis le choix du cépage jusqu'aux techniques œnologiques. Mais aussi, l'adaptation à l'évolution des préférences des consommateurs et aux transformations de la législation vitivinicole.

Les analyses s'effectuent à plusieurs échelles : plante, parcelle, exploitation, vignoble régional et secteur. Une attention toute particulière est portée aux niveaux régionaux où se différencient les impacts climatiques. C'est là que peuvent se coordonner les stratégies d'adaptation. L'une des hypothèses originales du projet LACCAVE étant que l'adaptation des vignobles se jouera aussi dans la capacité des acteurs à établir des relations pertinentes avec les techniciens et chercheurs.

Les scientifiques explorent alors les possibilités de replanter les vignes dans des régions soumises à des températures plus fraîches ou dans des zones situées plus en altitude. Selon Hervé Quénol et Benjamin Bois, tous deux participants au projet LACCAVE et spécialistes de l'étude du climat à petite échelle, *« il y a autant de variabilité du climat au sein d'une même région viticole, même petite, qu'entre deux régions viticoles »*.

De 1,8 à 4 °C en plus sur un siècle

« Le coup de chaud prévu dès le milieu du siècle ne sera pas sans danger pour la vigne et le vin », préviennent en effet les scientifiques. Car pour la fin du 21ème siècle, les différentes simulations prédisent que la température pourrait alors augmenter de 1,8 à 4 °C sur un siècle ! Quant aux prévisions climatiques, elles sont sujettes à polémique. Les précipitations auraient tendance à légèrement s'intensifier en règle générale. La seule exception concernerait les zones tempérées, pendant les saisons estivales. En tout état de cause, tous les chercheurs semblent s'accorder sur un point : les épisodes climatiques extrêmes seront légion. Et la vigne s'en ressentira.

> « L'adaptation des vignobles se jouera aussi dans la capacité des acteurs à établir des relations pertinentes avec les techniciens et chercheurs. »

© JeanWeber/INRA

Vignoble de champagne, à Cerseuil (Marne).

Un mûrissement plus précoce de 18 jours

L'impact du changement climatique sur la culture du vin n'est en réalité pas chose nouvelle. En une trentaine d'années seulement, les vendanges ont parfois dû être avancées de deux à trois semaines selon les régions. Et ce n'est pas fini ! Car les agronomes tablent sur un mûrissement des cépages Riesling et Gewurztraminer en avance de 18 jours, d'ici le milieu du 21ème siècle.

Cela aurait un impact sur la qualité des raisins, qui deviendraient plus sucrés et moins acides. Plus alcoolisé, le vin lui-même développerait des arômes complètement différents. Sans parler des nouvelles menaces, comme les maladies et autres ravageurs, induites par ce bouleversement climatique. Dans ce contexte, la vigne apparaît comme un lieu d'étude privilégié pour les scientifiques qui cherchent des réponses aux infimes modifications de l'écosystème. ...

© Christophe Maître/INRA

Mise en place d'une colonne de capteurs dans un vignoble bordelais pour l'étude des mécanismes physiques régissant les transferts entre un couvert végétal et l'atmosphère.

... Des caves pour laboratoires

Dès lors, la recherche française étudie les stratégies d'adaptation pour le vignoble français de demain. Sur des domaines expérimentaux en Alsace, en Aquitaine et en Languedoc-Roussillon, les chercheurs testent donc de nouvelles variétés, plus tardives et plus résistantes à la sécheresse et à la chaleur. Ils évaluent de nouvelles pratiques viticoles : introduisant l'irrigation, réduisant la taille et l'effeuillage de la vigne pour mieux protéger le raisin du soleil.

Les caves sont leurs laboratoires. Ils essaient différentes techniques pour réduire le taux d'alcool ou modifier le pH du jus de raisin… Enfin, ils enquêtent auprès des viticulteurs pour mieux anticiper les réactions des professionnels face au changement climatique et aux adaptations nécessaires. Et le consommateur dans tout cela ? Il n'est pas oublié : son goût pour les nouveaux vins et sa volonté d'achat sont finement analysés. Normal quand on sait que la France est le premier pays consommateur de vin sur la planète et que le vin est le deuxième secteur d'exportation français, selon *Vin & Société*. //

POUR EN SAVOIR PLUS
> www1.montpellier.inra.fr/laccave

EN BREF

Le génome du caféier enfin séquencé...

Un consortium international coordonné par une équipe française vient de publier la première séquence de référence du génome du caféier, plante d'une importance économique primordiale. Coffea canephora, *plus connu sous le nom de robusta, a été choisi pour son génome diploïde (2 x 11 chromosomes), alors que* Coffea arabica, *l'autre espèce cultivée, étant un hybride tétraploïde (4 x 11 chromosomes) de robusta et de* Coffea eugenioides *plus complexe à séquencer. Combinant plusieurs technologies de séquençage, les chercheurs ont déchiffré les 710 millions de bases de son ADN et identifié plus de 25 000 gènes. Cette identification d'intérêt agronomique devrait faciliter la sélection ou la création de variétés plus résistantes aux contraintes environnementales et aux agresseurs (insectes, champignons, virus...).*

CEA CNRS CIRAD IRD

© P. Latron/LookatSciences/CEA

Mise en place d'une cellule à flux continu (*flowcell*) contenant les échantillons préparés sur un séquenceur à très haut débit (Illumiona), dans la salle des séquenceurs du Genoscope.

... tout comme celui du colza !

Le même consortium international vient de publier la séquence de référence du génome du colza. Un outil de choix pour l'amélioration variétale. Cultivé à grande échelle depuis peu, le colza possède un fort potentiel d'amélioration génétique. Cette séquence de référence facilitera l'identification de gènes d'intérêt agronomique en vue d'améliorer la teneur et la composition en huile, la résistance à des pathogènes, la tolérance au froid, le rendement ou l'efficacité d'utilisation des nitrates dans le sol.

CEA CNRS INRA UNIVERSITÉ D'ÉVRY

Le riz n'a pas peur de la chaleur !

En mesurant la température au niveau des épillets du riz, les chercheurs étudient les mécanismes développés par la plante pour assurer sa floraison malgré la chaleur. Ces connaissances, intégrées à des modèles, permettent d'ajuster les pratiques culturales et de sélectionner de nouvelles variétés.

CIRAD

Résistance du cotonnier à la sécheresse

Une équipe française, associée à des chercheurs brésiliens, étudie la résistance à la sécheresse de 250 variétés de cotonniers en les faisant pousser dans des rhizotrons, qui permettent de suivre le développement des racines.

CIRAD

© Julie Debru/CIRAD

Le coton-graine récolté manuellement au champ est trié. Les carpelles sont séparés du coton-graine (blanc) pour améliorer la qualité, donc le prix d'achat.

© Pierre Marraccini/CIRAD

Projet ATP CIRAD-EMBRAPA « Plasticité phénotypique des caféiers en condition de stress hydrique au champ ».

Quand le caféier s'adapte aux stress multiples

En Amérique latine, des chercheurs français analysent l'adaptation du caféier à des combinaisons de stress (sécheresse, maladies, attaques de nématodes), dans le but de proposer de nouvelles variétés et des modes de culture adaptés en agroforesterie.

CIRAD

L'ACV pour mieux évaluer les impacts environnementaux d'une production

L'ACV, analyse de cycle de vie, évalue les impacts environnementaux tout au long d'une filière de production, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie du produit. La base de données ACV-Cirad©, fondée sur cette approche, englobe l'ensemble du cycle de vie d'un produit : de l'extraction des matières premières en passant par la production, la consommation et jusqu'aux déchets des produits des pays du Sud (agrumes, coton, tomate, huile de palme, café, riz, manioc, jatropha, viande bovine).

CIRAD

Thon rouge Atlantique : un géant fragile en convalescence

Espèce mystérieuse, le thon rouge Atlantique fascine les scientifiques et constitue un champ d'étude important. Ressource partagée et à haute valeur marchande, elle est exploitée par une vingtaine de pays. Des chercheurs français, qui étudient l'écologie du thon rouge, ont travaillé sur l'historique de sa surexploitation au cours des années 1990-2000, et élaborent des modèles de gestion en vue du plan de reconstitution, qui court de 2007 à 2022, pour cette espèce particulièrement sensible à l'environnement thermique.

IFREMER

Mieux cerner l'impact du changement climatique avec les plantations d'hévéas

En Thaïlande, les chercheurs français et leurs partenaires mesurent les échanges d'eau et de carbone entre les plantations d'hévéas et l'atmosphère, à l'aide de tours à flux. La compréhension du fonctionnement de ces plantations sert à tester différents scénarios de changement climatique.

CIRAD

© Guy Trébuil/CIRAD

Rizières en terrasses après récolte, dans un village des environs de Guilin, sud-est de la Chine.

Les populations rurales africaines à rude épreuve

Pour comprendre comment les populations d'Afrique subsaharienne perçoivent et s'adaptent à la variabilité du climat, sociologues, anthropologues, démographes, climatologues, économistes, géographes ou encore agronomes ont mené durant quatre ans, dans le cadre du projet ESCAPE (*Environmental and Social Changes in Africa: Past, present and futurE*), des enquêtes de terrain au Sénégal, Mali, Niger et Bénin. Les résultats confirment un important réchauffement en Afrique de l'Ouest au cours du siècle dernier, un reverdissement du Sahel depuis la fin des années 1990 et une intensification des événements extrêmes. Si les populations rurales ont réussi jusqu'ici à s'adapter, les projections montrent que l'agriculture sera mise à rude épreuve si le réchauffement atteint + 2 °C. Ces conditions pourraient remettre en question les capacités d'adaptation des populations.

IRD

OBSERVER LES OCÉANS

Par son étendue et son inertie aux phénomènes, la mer représente un défi scientifique majeur d'observation dans le cadre du réchauffement climatique.

Composante essentielle du système climatique, la mer présente une réponse lente au réchauffement, avec des propriétés très particulières par rapport aux autres composantes que sont l'atmosphère, la surface terrestre et la cryosphère. Par ailleurs, les changements climatiques constatés sont inédits depuis plusieurs milliers d'années.
De fait, la mer présente un enjeu tout particulier, avec notamment des **conséquences sur l'évolution de la chaîne du vivant**, comme l'acidification des océans (ci-contre), dont l'impact négatif sur les espèces, la biodiversité, mais aussi sur les activités économiques comme la pêche, inquiète les scientifiques. Ainsi, le dernier rapport du GIEC le confirme : de nombreuses espèces marines migreront vers des latitudes plus hautes du fait de l'augmentation des températures. Ces déplacements auront un impact sur la pêche aux latitudes tropicales, avec des potentiels de productions qui vont se réduire et une plus grande vulnérabilité des zones côtières. *« Appréhender les conséquences du phénomène de réchauffement sur l'eau de mer est une science très complexe »*, avouent les spécialistes. La recherche française est fortement mobilisée sur ces aspects. **L'observation est essentielle**, d'autant que généralement elle s'opère dans des zones difficiles d'accès et en profondeur. La combinaison de l'observation locale et spatiale sera une clé des recherches pour demain.

© Jean-Michel Boré/IRD

En stockant la chaleur reçue par le soleil, l'océan interagit avec l'atmosphère.

FOCUS

L'INQUIÉTANTE ACIDIFICATION DES OCÉANS

POUR EN SAVOIR PLUS
Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer :
> www.obs-vlfr.fr

Depuis le début de la révolution industrielle, le pH des océans a diminué de 30 %. En perturbant tout l'écosystème marin, ce phénomène pourrait avoir des effets néfastes sur de nombreuses espèces marines.

IFREMER CNRS

Parmi les conséquences méconnues des activités humaines : l'acidification des océans. Les scientifiques commencent désormais à mieux en cerner les effets. Rappelons que l'acidification, directement liée à l'augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dissous dans l'eau, est un phénomène induit par le surcroît des émissions de gaz à effet de serre avec, à la clé, une diminution progressive du pH des océans. D'ici 2100, l'acidité moyenne des océans devrait tripler !

La menace est grande puisque cette acidification *« devrait avoir un impact sur les organismes présentant un squelette ou une coquille calcaire par exemple les coraux et les mollusques, entraînant des perturbations d'écosystèmes polaires et coralliens »*, précisent les chercheurs, suite à de récents travaux de scientifiques français.

La chaîne alimentaire marine en danger

En effet, de nouvelles recherches démontrent que la hausse de l'acidité des eaux *« renforce l'effet néfaste d'une hausse de la température sur la croissance des coraux »*. Comme les mollusques et quelques espèces de phytoplancton, les coraux produisent un squelette calcaire : une trop forte acidité des eaux entraîne le ralentissement de cette fabrication. Atteints, les coraux et autres ptéropodes (gastéropodes vivant dans la colonne d'eau) ne pourront plus nourrir ou abriter les nombreux organismes qui dépendent d'eux. Cela pourrait alors se traduire par une mortalité accrue des espèces marines, avec des conséquences pour les atolls, dont l'existence même est fondée sur ces récifs coralliens. À l'autre bout de la chaîne trophique, peu de données sont, à l'heure actuelle, disponibles. Toutefois, de rares études montrent que le système sensoriel et, donc, le comportement de certains poissons pourraient être affectés par une diminution du pH.

© S. COMEAU/CNRS Photothèque/UPMC/LOV

Sensible à l'acidification des océans, le ptéropode joue un rôle très important dans la chaîne alimentaire en Arctique.

Face à la nouveauté de ce domaine de recherche, les incertitudes sur les conséquences de ce phénomène sont réelles. Aucune donnée chiffrée n'est aujourd'hui disponible tant l'acidification actuelle des océans est un processus rapide, sans analogie dans le passé de notre planète. //

EN BREF

Les aires marines protégées sont-elles encore efficaces ?

*La Méditerranée compte plus de cent aires marines protégées (AMP) qui doivent défendre le maintien des espèces.
La connectivité des populations, assurée notamment par la dispersion des larves en fonction des courants, est un élément essentiel de leur efficacité. En prenant l'exemple du mérou brun, espèce emblématique de Méditerranée sévèrement exploitée et dont la survie dépend des aires marines protégées, des chercheurs ont montré que les AMP méditerranéennes sont loin de constituer un véritable réseau connecté. En effet, les distances entre les aires sont de 1 032 km en moyenne, alors que la distance moyenne de dispersion des larves de mérou brun n'est que de 120 km, ce qui laisse de nombreuses populations locales totalement isolées.
Le phénomène est encore plus inquiétant quand on sait que le changement climatique (sur une hypothèse de + 2,8 °C à la fin du 21ème siècle) affecte le degré de connectivité entre les populations de poissons en Méditerranée, en diminuant de 10 % la distance de dispersion des larves.*

CNRS FRB IRD

Phytoplancton : adapter les stratégies de pêche

Pour la première fois, des chercheurs ont évalué la capacité de modèles numériques à prévoir sur le long terme l'évolution d'un paramètre biologique, à la base de la chaîne trophique marine : la production primaire du phytoplancton. Ainsi, ces variations naturelles pourraient être prévues plusieurs années à l'avance dans le Pacifique équatorial. Ce qui ouvre des perspectives sur de possibles stratégies de pêche raisonnée à l'échelle pluriannuelle.

MÉTÉO FRANCE CEA CNRS

L'acidification réduit la taille des coquillages marins

Une étude internationale, coordonnée par une équipe française, en association avec des chercheurs italiens, montre que la réduction de la taille, observée chez certains organismes marins au cours des crises d'extinction massive passées, pourrait être une conséquence de l'acidification des océans. Cette réduction leur aurait permis de survivre en présence de fortes concentrations de CO_2, un phénomène qui pourrait se reproduire dans le futur, du fait du réchauffement climatique.

IRD

Pour visualiser la vidéo sur la mission océanographique OUTPACE.

GÉRER LES RESSOURCES EN EAU

Le changement climatique renforcera les enjeux et tensions sur la ressource en eau, tant en termes quantitatif que qualitatif : crues et étiages, concurrences entre usages.

Le changement climatique et l'augmentation attendue des phénomènes climatiques extrêmes auront un **impact sur la répartition saisonnière et géographique des ressources en eaux,** sur l'état et les fonctionnalités des milieux aquatiques, sur les risques naturels (crues, étiages aggravés, avalanches, érosion des sols, laves torrentielles…). L'ensemble des valorisations économiques, dont la production agricole, sera affecté. La qualité de la ressource et la vie aquatique évolueront également en raison d'un apport plus grand de polluants, et de la réaction des écosystèmes à l'augmentation des températures et à la diminution des débits en particulier.

Notre objectif est alors de **réduire notre vulnérabilité** à ces évolutions en particulier en proposant, à partir d'une meilleure compréhension des processus, de **nouvelles technologies plus économes,** mais aussi en développant de **nouveaux comportements.** En effet, les tensions continueront à augmenter entre les différents usages de l'eau, entre les objectifs de protection de la ressource et des milieux aquatiques et ceux liés à des usages économiques (énergie, agriculture…). Il s'agit de préserver l'eau en la partageant mieux. Dans le contexte du changement climatique, il devient alors vital de s'appuyer sur une recherche interdisciplinaire et intégrée afin d'anticiper pour agir.

© François Michel/BRGM

Tantôt asséché, tantôt fougueux, le Cians, petit torrent alpin, prend sa source dans le parc national du Mercantour.

© L. Emperaire/IRD

FOCUS

L'EAU SOUTERRAINE VUE DEPUIS L'ESPACE

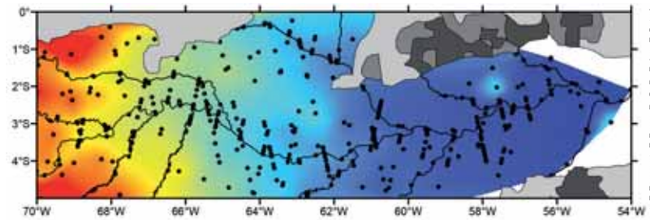
Sur une rive du Rio Negro, en Amazonie.

PUISSANTE AMAZONE

Plus vaste forêt tropicale humide de la planète, l'Amazonie n'affiche pas moins de 26 °C en moyenne toute l'année. Immense réservoir de biodiversité, cette région est également célèbre pour abriter le plus grand fleuve au monde, l'Amazone. Long de 6 300 km environ, il prend sa source au Pérou et se jette dans l'océan Atlantique. Lors de la saison des pluies, entre décembre et mai, il peut atteindre 20 km de large et charrie près de 20 % d'eau douce de la planète.

Difficile à étudier à cause de sa taille et sa localisation, la nappe d'eau souterraine de l'Amazone joue pourtant un rôle primordial dans ce riche écosystème alluvial. Rivières, lacs, eaux de surface et plaines d'inondation sont généreusement alimentés par ses soins, lors des périodes moins pluvieuses. Conséquence : le stress hydrique de la végétation s'en trouve limité.

NIVEAU D'ÉTIAGE DE LA NAPPE POUR LE CORRIDOR CENTRAL AMAZONIEN



Cette carte représente le niveau moyen du toit de la nappe lors des périodes les moins pluvieuses de l'année entre 2003 et 2008.

Légendes

Main Rivers

Stations virtuelles basées sur l'altimétrie spatiale

Hauteur de la nappe phréatique au-dessus du géoïde (m)

Valeurs

Haut : 75

Bas : 0

© Pfeffer, J., F. Seyler, M.-P. Bonnet, S. Calmant, F. Frappart, F. Papa, R. C. D. Paiva, F. Satgé, and J. S. D. Silva (2014), Geophys. Res. Lett., 41, 1981–1987, doi:10.1002/2013GL059134.

QUOI

MIEUX CONNAÎTRE LES NAPPES PHRÉATIQUES ET LEUR IMPACT SUR LE CLIMAT

96 %... C'est la part d'eau douce qui se trouve sous nos pieds. Autant dire presque la totalité. Mais ces réservoirs invisibles sont difficiles à étudier. Des chercheurs ont mis au point un moyen de cartographier les nappes phréatiques depuis... l'espace. Avec une application sur l'écosystème amazonien.

IRD

Lancé en 2002, ENVISAT est le plus grand satellite européen d'observation de la Terre.

© ESA

Comment cartographier l'eau sous nos pieds ? La solution se trouve... dans l'espace ! Alors que l'eau souterraine représente plus de 96 % de l'eau douce de la planète, les réservoirs phréatiques, par définition souterrains, restaient jusqu'ici très difficiles à étudier par les scientifiques. La localisation géographique particulière de certaines nappes rend également leur observation peu accessible par des moyens classiques.

Une avancée majeure a été réalisée pour des régions humides comme l'Amazonie, où des chercheurs français, associés à des partenaires brésiliens, ont réussi à mettre au point une nouvelle méthode de mesure du niveau phréatique. Les scientifiques ont en effet pu dresser, à partir des images du satellite européen pour l'environnement ENVISAT (*ENVIronment SATellite*), les premières cartes de la nappe amazonienne qui repose sous les plus grands fleuves mondiaux que sont l'Amazone et le Rio Negro. Rappelons que l'Agence spatiale européenne a lancé ce satellite d'observation de la Terre, en 2002, pour mesurer de façon continue et à différentes échelles les paramètres environnementaux de la planète relatifs à l'atmosphère, l'océan, les terres émergées et les glaces.

Les cartes ainsi produites montrent la hauteur de l'aquifère, lors des périodes de basses eaux de 2003 à 2008. Elles expliquent aussi comment la nappe a répondu aux sécheresses, comme celle survenue en 2005. Objectif : permettre de mieux caractériser son rôle sur le climat et l'écosystème amazonien.

Une cartographie depuis l'espace

Déjà appliquée aux océans, la cartographie depuis l'espace est une méthode originale, appliquée cette fois-ci à l'Amazonie... L'équipe de recherche a mis au point un moyen pour étudier les nappes souterraines, à partir de mesures altimétriques par satellite. Cette technique est utilisée, depuis seulement quelques années, pour l'observation des plans d'eau continentaux de surface.

Plusieurs années de travaux ont été nécessaires pour calibrer et valider les données recueillies. Plus de 500 rivières, lacs et zones inondées du bassin amazonien ont ainsi été scrutés pour connaître précisément les altitudes et variations de niveau.

Pas moins de 491 stations de mesure

En utilisant les concepts d'interaction entre eaux souterraines et eaux de surface d'une part, et les données altimétriques recueillies avec le satellite ENVISAT d'autre part, les scientifiques ont *« pu évaluer la topographie du toit de nappe durant les périodes de basses eaux dans la plaine alluviale d'Amazonie centrale »*.

Ces mesures auront nécessité pas moins de 491 stations altimétriques, placées à la surface des eaux. Une couverture inédite à la hauteur de l'immensité du bassin amazonien ! Des cartes du toit de nappe (ou surface de la nappe) ont ainsi pu être établies avec une résolution spatiale allant de 50 à 100 km.

La nappe souterraine enfin révélée

La nappe phréatique amazonienne dispose désormais de ses premières cartes ! Un exploit réalisé grâce à ce réseau d'observation, le plus dense jamais déployé à cette échelle. Les chercheurs ont pu constater que les réservoirs d'eau en surface, en saison sèche, sont au même niveau que l'aquifère qui les alimente : les mesures altimétriques ainsi obtenues permettent alors des observations directes de la hauteur d'eau souterraine. Une cartographie précise du toit de la nappe en période d'étiage, c'est-à-dire à son niveau le plus bas dans l'année, de 2003 à 2008, a révélé une cohérence entre les mesures obtenues par les scientifiques et les mesures directes de la profondeur d'eau effectuées dans des puits.

La nappe a une mémoire !

La sécheresse de 2005 a eu un impact important dans la majorité de la zone d'étude puisque le niveau d'étiage a brutalement baissé, selon les observations des scientifiques. Au fil des mois, ce niveau est remonté petit à petit, du nord au sud. Il n'a retrouvé sa valeur moyenne qu'entre 2007 et 2008. Ce qui fait dire aux chercheurs qu'un important « effet mémoire » de la nappe existe. Il pourrait même avoir un fort impact sur le climat. Et les conséquences d'un niveau d'eau anormalement bas sont bien connues : diminution de l'évapotranspiration, limitation du taux de vapeur dans l'atmosphère et réduction à terme des pluies.

> « Il existe un important « effet mémoire » de la nappe, qui peut avoir un fort impact sur le climat. »

La cartographie par satellite des nappes phréatiques se révèle être une source d'informations essentielle. Avancée majeure pour les études hydrologiques, cette méthode rend inédite la mesure de la structure spatiale et temporelle de la nappe amazonienne. Ce projet d'envergure permet de mieux appréhender les processus hydrologiques souterrains à grande échelle. Ces derniers se veulent une donnée importante en matière environnementale car ils sont directement impliqués dans le cycle de l'eau, le cycle du carbone et le maintien de la biodiversité en Amazonie. L'eau souterraine n'est dorénavant plus cette mystérieuse inconnue ! //

POUR EN SAVOIR PLUS

J. Pfeffer, F. Seyler, M.-P. Bonnet, S. Calmant, F. Frappart, F. Papa, R. C. D. Paiva, F. Satgé, and J. S. D. Silva. 2014. **LOW-WATER MAPS OF THE GROUNDWATER TABLE IN THE CENTRAL AMAZON BY SATELLITE ALTIMETRY,** in *Geophysical Research Letters*.

FOCUS

IRRIGATION : NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR CONSOMMER MIEUX ET MOINS

QUOI

PALLIER LES MANQUES D'EAU DANS L'AGRICULTURE

L'irrigation des productions alimentaires mais aussi l'arrosage des espaces verts consomment de grandes quantités d'eau. Pour réduire leur impact, des chercheurs et ingénieurs travaillent sur le développement de nouvelles technologies, et notamment une filière de traitement et de distribution des eaux usées. Tour d'horizon. IRSTEA

Il existe de nombreuses techniques et pratiques d'irrigation innovantes permettant de baisser la pression sur la ressource en eau. Des équipes scientifiques françaises et surtout de R&D travaillent à l'amélioration de technologies existantes et/ou au développement de nouvelles filières plus économes.

À commencer par le « goutte à goutte enterré ». Technique déjà bien connue, elle fait encore l'objet de nombreuses innovations. Appelé aussi SDI, pour *Subsurface Drip Irrigation,* c'est une solution intéressante, car économe en eau, pour la plupart des pays confrontés aux problèmes de pénurie de l'or bleu. Et ce, en raison de son efficacité. De plus en plus de régions françaises étant soumises à des restrictions d'eau, sa possible utilisation pour irriguer les grandes cultures est à l'ordre du jour.

© IRSTEA

Gros plan sur une installation de goutte à goutte enterrée.

Le goutte à goutte enterré

Adaptée à la pomme de terre, l'arboriculture fruitière, au blé ou encore à la vigne, la technique du goutte à goutte enterré a fait son apparition aux États-Unis, il y a plus de 20 ans. Concrètement, elle consiste à enterrer en profondeur, sur de petites surfaces, des gaines d'irrigation localisées qui diffusent ainsi l'eau en petites quantités, au plus près des racines des plantes. Inconvénient : ces tuyaux se sont révélés très vulnérables au colmatage et aux intrusions racinaires. L'apparition de nouveaux matériels plus performants a permis de réaliser des applications aux grandes cultures, telles que le maïs, dans certaines conditions.

Pour les grandes cultures, les spécialistes préconisent l'emploi de gaines d'irrigation équipées de gouteurs espacés de 30 à 40 cm et enterrées à 30 cm, soit une profondeur supérieure à celle du labour. Chaque gouteur délivre un débit proche du débit nominal avec surtout une bonne uniformité. Des systèmes anti-siphon et anti-racines empêchent l'intrusion des particules du sol et des racines.

Parmi les avantages du goutte à goutte, par rapport à la technique classique de l'aspersion, les scientifiques insistent sur un point particulier : *« En l'absence de vent et moyennant une régulation automatique efficace, le passage au SDI génère jusqu'à 20 % d'économie d'eau (dans les conditions climatiques de Montpellier), soit un à deux passages de canon à aspersion. Cependant, lors d'un printemps peu pluvieux, la levée peut poser des problèmes et imposer un apport par aspersion ».*

> « Recyclage des eaux usées : une filière prometteuse dans un contexte de changement du climat. »

Des eaux usées pour les cultures et la voirie

Une autre piste étudiée concerne le recyclage des eaux usées pour irriguer les cultures. C'est l'idée de REUSE (réutilisation des eaux usées traitées) : la France s'est récemment dotée d'une réglementation adaptée qui devrait donner naissance à une filière prometteuse pour pallier les manques d'eau dans l'agriculture, dans un contexte de changement climatique.

Mis en œuvre dans le cadre du projet NOWMMA (*New process for Optimizing Wastewater Reuse from Mauguio to the Mediterranean Area*), qui court de 2012 à 2015, le REUSE se concrétise par le développement d'un traitement adapté à la distribution des eaux usées sur des plantes. Ce projet de R&D a abouti au développement d'un démonstrateur testé à Mauguio, en Camargue, puis par extension, à l'ensemble du bassin méditerranéen.

© B. Molle/IRSTEA

Évaluation de la dérive d'aérosols sous aspersion, avec des eaux additionnées de colorant, pour simuler une eau usée.

Le développement expérimental qui est mené a pour objectif de proposer une filière de réutilisation des eaux usées innovante technologiquement, avec un système et des pratiques d'entretien adaptés à ce type d'usage. Faisant l'objet d'évaluations environnementale et économique, il doit surtout être acceptable socialement.

Le démonstrateur développé doit répondre aux interrogations suivantes : quelle maîtrise des risques inhérents à la réutilisation des eaux usées ? Existe-t-il des risques sanitaires humains ou pour les végétaux ? Quels sont les risques technologiques ?

NOWMMA concerne non seulement l'irrigation d'espaces verts et de cultures, mais aussi, dans une moindre part, le nettoyage de la voirie ou le lavage de véhicules. Le pilote doit mener à des produits commercialisables permettant le déploiement d'une filière modulable et exportable dans les pays du bassin méditerranéen. //

POUR EN SAVOIR PLUS

RÉUTILISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES POUR L'IRRIGATION DES CULTURES, L'ARROSAGE DES ESPACES VERTS PAR ASPERSION ET LE LAVAGE DES VOIRIES - Avis de l'ANSES. Rapport d'expertise collective. Mars 2012. Édition scientifique.

Pour visualiser la vidéo *Le goutte-à-goutte enterré, avantages et inconvénients.*

EN BREF

R²D² : LA DURANCE EN 2050

Le projet de recherche R²D² 2050 (2011-2014) est une étude prospective sur la ressource en eau du bassin de la Durance à horizon 2050, impliquant les scientifiques et les acteurs du territoire. La chaîne de modélisation, ainsi élaborée fournit un ensemble de projections de la ressource et de la demande en eau des différents ***usages (adduction d'eau potable,*** *irrigation, tourisme, énergie). Notons* ***la conception d'un outil permettant de*** *simuler la gestion des grands ouvrages hydrauliques (dont Serre-Ponçon)* ***et l'allocation de l'eau stockée derrière*** *ces ouvrages. Les résultats obtenus sous différents scénarios de changement global indiquent une* ***gestion de l'eau, et donc des réservoirs, plus contrainte à l'horizon 2050.***

IRSTEA

S. Thebault/IRSTEA

La Durance.

WAG : jeux de rôle

Kit de jeux de rôle autour de la gestion et de la gouvernance de l'eau, Wat A Game *(WAG) a été utilisé plus de 50 fois dans des contextes opérationnels et pédagogiques, en Afrique, Europe et Asie. Son objectif est d'apprendre et aider à gérer l'eau et les bassins versants en invitant les participants à échanger autour de différents scénarios de disponibilité de la ressource. Ce projet propose des solutions d'adaptation.*

IRSTEA

Baisse des pluies à Montpellier

Neuf projections climatiques ont été réalisées pour évaluer l'impact du changement climatique sur la ressource en eau du système karstique du Lez, qui alimente en eau potable 340 000 habitants de l'agglomération de Montpellier. Ces projections prévoient une augmentation de la température moyenne mensuelle comprise entre +1,5 °C et +2,3 °C (± 1 °C), suivant la période de l'année. Pour la pluie, une diminution de l'ordre de 10 % des cumuls annuels pourrait se dessiner à l'horizon 2046-2065 par rapport à la situation de référence (1971-2000).

BRGM

Diminution de la quantité d'eau en Martinique

Quel sera l'impact du changement climatique sur les ressources en eaux superficielles et souterraines de la Martinique à l'horizon 2081-2100 ? Des modélisations ont été conduites par l'intermédiaire d'un modèle hydrologique global et sur la base de projections climatiques. Résultats : la quantité d'eau disponible diminuerait de façon significative en saison sèche. Des tensions quantitatives croissantes sont à attendre, notamment dans le centre de la Martinique où les rivières apparaissent particulièrement vulnérables à ce phénomène.

BRGM

À quelles sécheresses s'attendre au 21ème siècle ?

Lancé en mars 2008, le projet CLIMSEC a pu caractériser l'impact du changement climatique sur la ressource en eau, avec un focus particulier sur l'humidité des sols. À partir de bases de données de référence sur les pluies, l'humidité des sols et les débits de rivière, les différentes projections annoncent l'apparition, à partir du milieu du 21ème siècle, de phénomènes de sécheresse inhabituels par rapport aux normes actuelles, tant par leur étendue que leur durée.

MÉTÉO FRANCE

L'Inde du Sud en 2045

Une équipe indienne du Centre franco-indien de recherche sur les eaux souterraines et des spécialistes français de la télédétection ont mené une étude révélant que le changement climatique, prévu à l'horizon 2045, va avoir des effets contrastés sur la disponibilité de la ressource en eau souterraine, au sein d'un même bassin-versant, en Inde. Elle démontre ainsi la nécessité de prendre en compte les caractéristiques locales (aquifère, infrastructures et pratiques) pour évaluer l'impact du changement climatique sur les activités agricoles.

BRGM

Détermination de la résistance de la protéase du VIH aux traitements antirétroviraux.

PRÉVENIR LES MALADIES ÉMERGENTES

Entre climat et maladies émergentes, des liaisons dangereuses existent. Le changement global risque en effet d'affecter la santé humaine, de manière directe ou indirecte avec les maladies infectieuses dites « émergentes » ou « ré-émergentes ».

Même s'il est difficile d'établir un lien direct entre les variations climatiques et l'évolution globale des pathologies infectieuses, **des maladies nouvelles apparaissent**, causées par des agents bactériens ou viraux jusque-là inconnus ou qui évoluent, notamment, sous l'effet des variations du climat. Ce sont les maladies infectieuses dites « émergentes » ou « ré-émergentes », comme les leishmanioses, la fièvre du Nil occidental, etc. Celles-ci provoquent, d'après l'OMS (Organisation mondiale de la santé), un tiers des décès dans le monde, les pays en développement étant en première ligne.

Plusieurs paramètres peuvent être à l'origine de cette diffusion accrue des pathogènes et de leurs hôtes. Le changement climatique modifie les conditions de température et d'humidité des milieux naturels, mais aussi les aires de répartition, l'abondance, le comportement, les cycles biologiques et les traits d'histoire de vie de ces pathogènes ou de leurs hôtes. **Ces effets sont encore peu expliqués.** La recherche doit pour cela avoir une compréhension de l'évolution spatiale et temporelle, sur le long terme, de ces phénomènes.

© E. Perrin/CNRS Photothèque

FOCUS

PALUDISME AVIAIRE PRÉDIRE L'INFECTION

QUOI

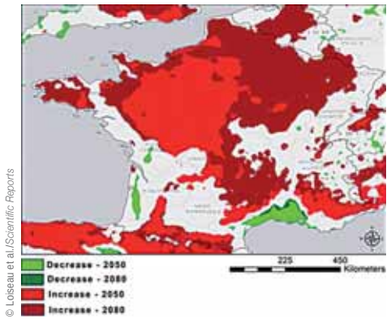
LE PALUDISME AVIAIRE POURRAIT TOUCHER LA BRETAGNE ET LE NORD

La carte de l'extension du paludisme des oiseaux dans des régions où il est actuellement peu présent suggère que la France ne sera pas épargnée. Quel rôle joue le réchauffement climatique dans l'émergence de ce risque infectieux ? CNRS IRD

Chikungunya, dengue, paludisme… Autant de maladies infectieuses jusque-là méconnues en France mais qui font peu à peu leur apparition dans les foyers de la moitié sud de l'Hexagone. L'influence du réchauffement climatique sur l'émergence de ces maladies infectieuses serait avérée, selon les scientifiques. Car la température et le niveau des précipitations peuvent affecter la vitesse de développement des pathogènes, ainsi que l'abondance et la survie des invertébrés qui les transmettent. C'est bel et bien le cas avec les moustiques vecteurs du paludisme ou de la dengue. Il est donc possible que la hausse des températures favorise la transmission de certains pathogènes et l'accroissement de leur aire de répartition.

> *« La maladie va s'étendre dans des régions assez épargnées pour le moment. »*

LE PALUDISME AVIAIRE EN BRETAGNE ET DANS LE NORD DE LA FRANCE



© Loiseau et al./*Scientific Reports*

Sur cette carte, en vert les zones où la prévalence du paludisme aviaire va baisser d'au moins 1 % ; en rouge les régions où la prévalence de la maladie augmentera d'au moins 10 %. On distingue nettement l'accroissement en Bretagne et dans le nord de la France.

À partir de relevés sur le terrain, une étude internationale, à laquelle ont participé plusieurs chercheurs français, a produit un modèle visant à prédire la manière dont le réchauffement climatique va influer sur le paludisme des oiseaux en France. Les résultats, parus dans *Scientific Reports,* montrent que, d'ici quelques décennies, la montée des températures favorisera l'extension de la maladie dans des régions où elle est actuellement peu présente, comme la Bretagne ou le nord du pays.

1 750 oiseaux examinés dans 24 localités

Difficile d'estimer la prolifération des maladies infectieuses puisque nombre de mesures sanitaires sont mises en place pour limiter leur émergence et leur expansion. Face à l'augmentation du risque de contracter le paludisme, prédite par différents scénarios climatiques, cette maladie recule pourtant dans les zones où elle est endémique. Et ce depuis les dernières décennies.

L'étude internationale en question s'affranchit donc des facteurs socio-économiques pour ne se focaliser que sur les pathogènes de la faune sauvage, et en l'occurrence l'agent pathogène du paludisme aviaire chez le moineau domestique. Il s'agit d'un protozoaire, un *Plasmodium,* proche de ceux qui sont responsables du paludisme chez l'homme. Puisque les moustiques infectés transmettent la maladie aux oiseaux, le réseau des bagueurs amateurs du Centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux a examiné 1 750 oiseaux, dans 24 localités françaises.

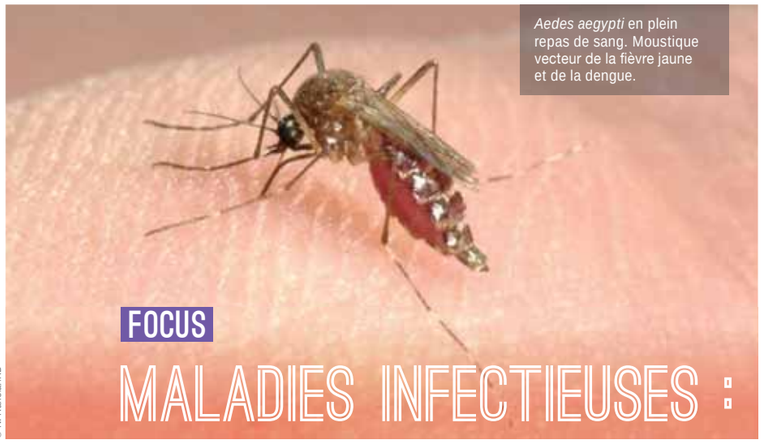
Pour attribuer aux facteurs environnementaux la variabilité de la prévalence (proportion d'individus infectés) du paludisme aviaire, les chercheurs ont travaillé sur les données de température, de précipitations et d'altitude de chacun des sites étudiés.

Prédire la prévalence de l'infection en 2050 et 2080

Bretagne, Normandie, Nord-Pas-de-Calais, autant de régions aujourd'hui épargnées par le paludisme aviaire mais qui, d'ici 2050, seront elles aussi touchées par cette infection. Les auteurs de l'étude en question ont analysé plusieurs facteurs climatiques, comme la variation de température journalière, pour établir un modèle visant à prédire la prévalence de l'infection en 2050 et 2080. 83 % de la variabilité de la prévalence observée s'expliquent par cette variation climatique. Ce modèle indique également que la maladie va augmenter dans les sites où la transmission du parasite est déjà présente. //

POUR EN SAVOIR PLUS
C. Loiseau, R. J. Harrigan, C. Bichet, R. Julliard, S. Garnier, A. Z. Lendvai, O. Chastel & G. Sorci. 2013. **PREDICTIONS OF AVIAN PLASMODIUM EXPANSION UNDER CLIMATE CHANGE**, in *Scientific Reports.*

Un extrait du film *Paludisme, le serial killer*



Aedes aegypti en plein repas de sang. Moustique vecteur de la fièvre jaune et de la dengue.

© N. Rahola/IRD

FOCUS

MALADIES INFECTIEUSES : QUELS NOUVEAUX RISQUES DEMAIN ?

QUOI

ANTICIPER LES PROPAGATIONS

Véritable enjeu de santé publique, les maladies infectieuses font l'objet d'un travail de recherche pluridisciplinaire, notamment en Afrique et dans le Pacifique Sud. Car l'impact du changement climatique est aujourd'hui évalué pour anticiper les risques de propagation et protéger les populations.

CIRAD IRD MÉTÉO FRANCE CPU

Fièvre de la vallée du Rift, leptospirose, dengue, chikungunya, Zika, Ross River… Autant de maladies infectieuses transmises par des animaux, dont le plus célèbre est le moustique. Une simple piqûre peut faire des ravages sur l'homme, aussi bien en Afrique qu'en Australie. Leur composante environnementale est donc avérée puisque le moustique nécessite un climat favorable pour se développer. D'où les recherches menées par les scientifiques pour comprendre comment ces maladies se propagent et quels en sont les facteurs déterminants.

La fièvre de la vallée du Rift subsaharienne est une maladie virale majeure des ruminants. Elle est transmise par la piqûre d'un moustique infecté ou par contact direct. Les chercheurs français s'attachent à mettre au point des modèles de prédiction du risque d'introduction de cette maladie en Afrique du Nord et en Europe. Le but étant de mieux cibler les zones à surveiller. Grâce à leur travail, ils appréhendent mieux le rôle des pluies dans la dynamique des mares temporaires. Ces dernières constituent les principaux gîtes de ponte des moustiques vecteurs. Les simulations ont mis en évidence que les épisodes de fièvre de la vallée du Rift, rapportés au Sénégal et dans le sud de la Mauritanie, surviennent les années pour lesquelles les deux espèces principales de moustiques vecteurs sont présentes simultanément et à forte densité. Dans la péninsule Arabique, c'est l'importation massive de petits ruminants qui est en cause, et à Madagascar, le commerce des bovins est à l'origine de la circulation du virus.

Du côté des pays et territoires insulaires du Pacifique (PICTs), les virus transmis par les moustiques, ainsi que la leptospirose, sont des sujets d'inquiétude majeure en matière de santé publique. Cette question sanitaire intéresse directement ou indirectement plusieurs scientifiques. Qu'ils soient spécialistes des maladies infectieuses, de l'écologie, de zoologie ou de santé publique, tous s'appuient sur la modélisation des effets du changement climatique pour évaluer la propagation des risques infectieux sur les populations de ces pays et territoires insulaires. Leur collaboration est essentielle pour déployer des outils d'anticipation face aux questions sanitaires de demain. //

EN BREF

Prévoir les flambées de dengue en fonction du climat

Une étude scientifique menée en Nouvelle-Calédonie démontre le rôle primordial du climat local dans la dynamique des épidémies. Des chercheurs de métropole et leurs confrères néocalédoniens ont analysé les données épidémiologiques et climatologiques, recensées depuis 40 ans à Nouméa. Ils ont ainsi mis en évidence la corrélation entre des conditions climatiques précises et l'apparition de flambées de dengue. Ces travaux ont permis d'élaborer des modèles statistiques explicatifs et prédictifs des épisodes viraux. Alors que les autorités de santé publique calédoniennes ont déjà intégré ces outils dans leurs stratégies d'aide à la décision, une approche similaire dans d'autres pays du Pacifique Sud se développe, avec un nouveau programme régional collaboratif.

IRD

Haro sur les tiques, insectes et rongeurs !

Quel est l'effet des changements environnementaux sur l'émergence de maladies à transmission vectorielle (moustiques, tiques, etc.) ? Des chercheurs français, réunis autour du programme EDENext (Biologie et contrôle des infections vectorielles en Europe), ont organisé des groupes de travail par vecteurs.

Les tiques : quel risque de transmission de nouveaux pathogènes ou du virus de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo ?

Les moustiques, comme Aedes albopictus, *et le risque de transmission des virus de la dengue, du chikungunya, ou les* Culex *et le risque de transmission du virus West Nile.*

Les phlébotomes : quel risque de transmission de l'agent de la leishmaniose ou de virus responsables d'encéphalites dans plusieurs pays du pourtour méditerranéen ?

Les moucherons piqueurs Culicoïdes *et le risque de transmission de virus responsables de maladies animales qui menacent la Méditerranée et l'Europe.*

Les rongeurs et insectivores, transmetteurs des Hantavirus, Orthopoxvirus et du complexe de la chorioméningite lymphocytaire en Europe.

CIRAD IRD

PRÉSERVER LES FORÊTS

Depuis 10 ans, la forêt mondiale perd 13 millions d'hectares par an ! La renforcer et mieux la gérer est essentiel.

La forêt est un écosystème important de près de 4 milliards d'hectares qui représente 30 % des terres émergées. Il agit comme un « puits de CO_2 ». Facteur de pluviométrie, il peut contribuer à combattre la sécheresse. Le premier objectif est de **lutter contre la déforestation.** En zone tropicale, ou plus largement dans les pays en développement, la déforestation ne cesse de s'étendre même si son rythme ralentit dans certains pays. Elle entraîne de nombreuses conséquences : disparition de la faune et de la flore, rejet important de carbone lorsque le bois est brûlé, érosion des sols, pollution de l'eau.

La France a plus de forêts aujourd'hui qu'il y a un siècle et les forêts européennes se portent plutôt bien. Cependant, le développement économique de la filière bois doit être mieux soutenu.
Le second objectif est de **préserver et d'adapter la forêt aux changements climatiques,** à travers une meilleure gestion de la forêt et des sols forestiers, une meilleure intégration au sein de différents écosystèmes (alternance de zone cultivée, de bois et de pâturages). La recherche travaille à l'évaluation des fonctions et services des forêts, à leur protection, adaptation et gestion.

© naturexpose.com/O. Dangles et F. Nowicki

Forêt de nuages dans la réserve de Maquipucuna (1 600 m), Équateur.

FOCUS

MENACE SUR LA FORÊT TROPICALE

À 90 % recouverte par la forêt amazonienne, la Guyane française abrite plus de 1 500 espèces d'arbres. Si la question de sa déforestation se pose peu, ce patrimoine naturel exceptionnel est sous la menace des changements climatiques.

CIRAD CNRS AGROPARISTECH INRA UNIVERSITÉ DES ANTILLES ET DE LA GUYANE ONF

Gisement de biodiversité exceptionnel, la forêt tropicale de Guyane française est menacée, non pas par la déforestation, la fragmentation ou une dégradation du paysage, mais par des épisodes climatiques sévères comme des sécheresses à répétition ou l'augmentation continue des températures. Indispensable à l'équilibre global de la planète, la forêt amazonienne permet une régulation de l'eau et du climat, le stockage du carbone ou encore la fourniture de bois. Pour mieux comprendre les menaces en cours, des chercheurs français ont lancé le projet CLIMFOR. Sa mission : explorer les conséquences du changement climatique sur quatre « services écosystémiques » guyanais : diversité végétale, diversité fonctionnelle, stockage de carbone et ressource en bois.

Le nord de ce département français, où vivent 95 % de la population, ne disposait d'aucune carte de référence pour ces services écosystémiques. Grâce à des approches de modélisation inédite, CLIMFOR s'est appuyé sur des données de météorologie, d'inventaires forestiers et de traits fonctionnels pour établir des projections, selon plusieurs scénarios climatiques. Les premiers résultats font ressortir un fort effet de « stress hydrique », notamment sur le renouvellement de la ressource en bois, avec des conséquences négatives sur la croissance de nombreuses essences commerciales. Par ailleurs, *« les arbres ont tendance à renouveler leurs feuilles en fin de saison sèche, en puisant dans leurs réserves, pour avoir un rendement photosynthétique optimal au début de la saison des pluies »*, expliquent les chercheurs. Ce rythme saisonnier de la forêt pourrait être menacé par une intensification de la saison sèche.

Des cartes pour les zones à protéger

Les scientifiques ont réussi à produire des cartes dites « d'irremplaçabilité », qui dessinent les zones à placer prioritairement sous protection. Les résultats suggèrent enfin que l'homogénéité du stock de carbone dans la forêt guyanaise est telle que la biodiversité constitue l'objectif majeur de la cohérence des zones de protection. Autant de résultats qui se révèlent utiles pour guider les pratiques de gestion des forêts. //

© Daniel Sabatier/IRD

Forêt basse à *Cochlospermum* sur affleurements granitiques (Monts d'Arawa, sud Guyane). Cette forêt à clairière illustre la diversité floristique en relation avec celle de milieux rares et fragiles.

EN BREF

Ça FUME !

*Incendies. Le projet FUME (*Forest fires under climate, social and economic changes*) a permis de créer des outils pour mieux gérer, dans l'avenir, les incendies de forêts. Face aux changements climatiques, sociaux et économiques, FUME devrait améliorer les politiques de lutte et de prévention contre les incendies de forêts. Des cartes des zones à risques ont été élaborées pour l'Europe et le bassin méditerranéen, de l'échelle régionale à l'échelle globale, en fonction du changement climatique et de l'évolution de l'occupation du sol et des activités humaines. Ces outils et cette modélisation à long terme sont autant d'atouts aux mains des décideurs pour aménager les territoires en prenant en compte l'aléa incendie.*

Résilience. La seconde partie du projet FUME vise à augmenter la résilience des forêts : il faut en effet adapter nos forêts aux menaces futures. Comment ? En faisant, par exemple, la promotion des peuplements mélangés, plus aptes à affronter les conditions climatiques extrêmes. Les chercheurs préconisent aussi les techniques de plantations à l'abri de la végétation existante (plante nurse), pour favoriser la reprise d'une végétation plus diversifiée. Concrètement, des parcelles expérimentales de plantation à l'abri de la végétation existante ont été créées à Saint-Mitre-les-Remparts. En cas de destruction de la forêt par le feu, un système d'aide à la décision, appelé Postfire-DSS, a été développé pour proposer des pistes concrètes d'actions de restauration selon les espèces, le climat local et l'intensité des dommages.

IRSTEA

Quel est le potentiel d'adaptation des forêts ?

Le projet FORADAPT, lancé en 2013 et qui court jusqu'en 2016, vise à évaluer les stratégies d'adaptation des forêts face au changement climatique. Objectifs : approfondir et synthétiser les connaissances actuelles concernant les mécanismes d'adaptation des forêts (plasticité phénotypique, migration, évolution génétique, réarrangement des communautés et gestion forestière), et améliorer les bases de données existantes. Il est également question d'identifier des stratégies d'adaptation permettant d'assurer la pérennité des services écosystémiques rendus par les forêts. Pour ce faire, FORADAPT crée le premier réseau des scientifiques impliqués qui mettent en commun connaissances et données.

IRSTEA INRA

FAIRE ÉVOLUER

NOS BESOINS ÉNERGÉTIQUES

Le changement climatique impose une véritable révolution énergétique à court terme. En quelques décennies seulement, il sera primordial à la fois de concevoir de nouveaux systèmes énergétiques et d'anticiper sur le plus long terme.

Ce sont des bouleversements à la fois techniques, structurels et comportementaux qui se profilent. Ainsi, sur le plan technologique par exemple, la production d'énergie sera probablement touchée par l'augmentation de la température de l'eau des rivières. En effet, les centrales thermiques ont besoin d'eau froide pour fonctionner efficacement. Leurs rendements pourraient ainsi diminuer, jusqu'à remettre en cause leur existence ! L'énergie hydraulique verra vraisemblablement sa part réduite à cause des épisodes prévisibles de déficit en eau. Sans parler de la protection de la faune marine. Rejeter les eaux chaudes des centrales thermiques dans des rivières elles-mêmes touchées par la hausse des températures tuerait de nombreuses espèces.

Les énergies renouvelables peuvent être impactées en raison de leur vulnérabilité aux événements extrêmes, qu'il s'agisse de l'énergie produite de la biomasse ou des énergies nouvelles (éoliennes, hydroliennes, solaires). Au-delà de leur durabilité intrinsèque, le principal défi relève des décisions politiques, économiques et sociales.

Concernant **la demande en énergie** des habitations, nous allons assister à un transfert significatif de l'hiver vers l'été : l'augmentation des températures fait migrer les besoins domestiques du chauffage vers la climatisation.

Au final, **le changement climatique pourrait impacter la production d'énergie** elle-même. Avec l'altération de l'ensoleillement par la présence plus fréquente de nuages, l'évolution des vents et des zones de pluie, la baisse du niveau hydraulique et la fonte accélérée du stock de neige qui alimente les barrages, c'est le potentiel des énergies renouvelables qui pourrait être directement menacé. Le défi de la recherche scientifique, dans les quelques décennies futures seulement, sera de réorienter les concepts énergétiques sur le long terme.

© Gilles Brabant/BRGM

Détente des gaz sur des conduites haute température à la centrale géothermique de Krafla (Islande).

GECO indique, pendant le trajet, comment améliorer son comportement au volant.

© IFP ENERGIES NOUVELLES

FOCUS

ÉCONOMISER ET CONDUIRE, C'EST POSSIBLE !

QUOI

UNE APPLICATION SMARTPHONE DE CONDUITE POUR 10 À 15 % D'ÉCONOMIE DE CARBURANT

Après avoir pris soin de notre santé, fait nos courses, coaché notre séance de gym, notre smartphone peut maintenant nous aider à adopter une conduite propre ! L'application GECO est un outil 2.0 innovant et facile d'utilisation pour réduire efficacement la consommation de carburant au volant.

IFP ENERGIES NOUVELLES

Baisser nos émissions de CO_2 et notre consommation de carburant… Ces objectifs sont partagés par tous, et les actions de chacun au quotidien peuvent permettre d'y participer. Parmi les leviers sur lesquels chaque citoyen ou presque peut agir : la conduite automobile. Comment faire un meilleur usage de sa voiture ? Des chercheurs ont développé une application mobile innovante. GECO permet, d'une part, de faire adopter au plus grand nombre d'automobilistes une conduite plus économe ; et d'autre part, aux entreprises d'évaluer et de contribuer à la réduction de leur empreinte écologique grâce à ce traceur énergétique. Bref, cela s'appelle pratiquer l'éco-conduite. L'objectif est de réduire la consommation sans nécessairement réduire la vitesse moyenne… À la clé : de 10 à 15 % d'économie de carburant.

QU'EST-CE QUE L'ÉCO-CONDUITE ?

Si les progrès techniques actuels permettent de fabriquer des voitures plus économes en carburant, il n'en reste pas moins que chaque automobiliste peut agir sur sa consommation d'énergie. Maintenir une vitesse stable, anticiper le trafic, changer les vitesses à bas régime moteur, entretenir son véhicule, éviter les charges inutiles, rouler moins vite ou encore arrêter le moteur lorsqu'il n'est pas utile : autant de pratiques de conduite économes en carburant. Sans oublier que l'éco-conduite permet des économies financières non négligeables et un impact positif sur la sécurité routière !

UNE APPLICATION WEB 2.0

LE PRINCIPE : GECO guide l'automobiliste dans ses trajets urbains et lui permet ainsi d'améliorer sa conduite.

Après avoir enregistré les caractéristiques du véhicule et le nombre de passagers, ce nouveau compagnon de route se base sur les fonctionnalités existantes du smartphone, dont le GPS, pour calculer en temps réel le mode de conduite idéal à adopter, selon le trajet parcouru. Après l'avoir comparé à la conduite réelle de l'automobiliste, GECO affiche le score obtenu, puis les améliorations à adopter, ainsi que des conseils pratiques. La performance énergétique est bien sûr affichée à l'écran, tout comme l'historique des trajets, les évaluations et les points à améliorer.

1. Première des choses : paramétrer le programme.
2. GECO analyse alors la vitesse en temps réel par rapport au trajet et propose de l'ajuster.
3. Un bilan du parcours est effectué. Il classe le conducteur au regard de sa conduite, en se basant sur des paramètres de vitesse moyenne, de consommation et « d'efficacité ».

> *« Demain, de nouveaux services sur l'efficacité énergétique, la sécurité et la maintenance pour la voiture connectée. »*

Un outil novateur

Les chercheurs ont développé et intégré à l'application GECO des algorithmes novateurs. Cette approche scientifique est largement innovante en ce qu'elle réussit à quantifier l'analyse de la conduite. Elle apporte ainsi des informations plus précises et plus riches. Concrètement, au cœur de l'application, se trouvent des algorithmes d'optimisation en ligne issus du savoir-faire de chercheurs en automatique et développés dans le cadre du projet Ville Mobilité Énergie (VME). *« Ce projet a d'abord permis d'étudier les problématiques liées à l'éco-conduite, ou plus précisément à l'optimisation énergétique de la conduite. Il s'agissait de formaliser un problème sous forme mathématique, grâce à un modèle de la consommation d'énergie d'un véhicule, et de proposer des méthodes de résolution qui soient utilisables en ligne »*, expliquent les ingénieurs.

→ Flexibilité

Contrairement à une idée reçue, réduire la vitesse n'est pas le seul moyen de diminuer la consommation de carburant et les rejets de CO_2. GECO le prouve puisqu'il permet d'agir sur plusieurs paramètres de conduite, sans que l'automobiliste soit obligé de décélérer. L'application analyse les informations globales sur le parcours. Elle propose des conseils de conduite. Elle se base sur un bilan détaillé des différents trajets réalisés pour analyser plus finement le comportement de l'automobiliste, développer des points d'amélioration et suivre ses progrès.

→ Convivialité

Comme toute application mobile innovante qui se respecte, GECO offre une interface conviviale. Les résultats sont délivrés instantanément sous forme de graphiques pour une lecture en un clin d'œil !

Destination : la voiture connectée

Ce nouvel outil d'éco-conduite témoigne de l'intégration réussie des technologies de l'information et de la communication dans l'automobile : *« La connexion des véhicules à leur environnement (infrastructure, autres véhicules) rendra possibles de nouvelles fonctionnalités. L'éco-conduite telle qu'elle est abordée aujourd'hui dans GECO n'est qu'un premier pas vers une automobile toujours plus intelligente et connectée »*, expliquent les ingénieurs impliqués.

Disponible sur l'App Store pour iPhone et sur Google Play pour Android, l'application GECO est gratuite. Des études sont d'ores et déjà menées pour proposer de nouveaux services logiciels pour les véhicules connectés, en termes d'efficacité énergétique mais aussi de sécurité, prévention, maintenance, etc. //

POUR EN SAVOIR PLUS
GECO est téléchargeable gratuitement sur les stores via > **www.geco-drive.fr**

FOCUS

DÉCHETS ORGANIQUES
UNE NOUVELLE BIORESSOURCE

© C. Bittoun/IRSTEA

Centre de stockage de déchets ménagers exploité en mode bioréacteur, à Cuves (Manche).

QUOI

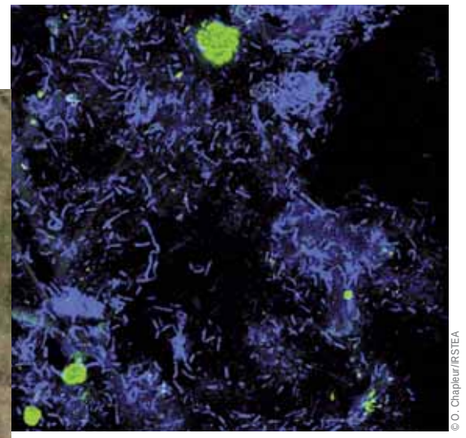
DES MICROBES QUI « CARBURENT » AUX DÉCHETS

Bioressource innovante, écologique et disponible, les déchets organiques sont un atout majeur pour l'énergie du futur. Mené par des scientifiques français et primé par les Investissements d'avenir, le projet BIORARE utilise la biomasse pour remplacer les produits pétroliers. Un mode de valorisation qui se présente comme une sérieuse option pour l'avenir de la planète.

IRSTEA CNRS INRA

Dans le domaine des carburants et de la pétrochimie, trouver une alternative aux énergies fossiles a longtemps été du domaine de l'impossible. Impossible n'étant pas français, des chercheurs ont développé un projet innovant en la matière : BIORARE. Son credo : électrosynthétiser des molécules plate-forme. Concrètement, ce projet de recherche permet de produire des molécules organiques simples par électrosynthèse microbienne à partir de déchets organiques. Une bonne façon de valoriser les 30 millions de tonnes de déchets ménagers produits en France…

L'utilisation de cette bioressource est une avancée considérable à plusieurs niveaux. D'abord, elle permet une économie importante de ressources fossiles, dont les réserves s'épuisent de jour en jour. Ensuite, la matière première, à savoir les déchets organiques (déchets ménagers, alimentaires, verts ou encore agricoles), représente un faible coût et offre une forte disponibilité, car elle est produite en grande quantité par chacun d'entre nous. Enfin, cette ressource est renouvelable et aboutira, in fine, à remplacer les produits pétroliers, soumis aux cours internationaux et nuisibles à l'environnement.



© O. Chapleur/IRSTEA

Micro-organismes marqués par sondes fluorescentes et observés au microscope confocal à balayage laser.

Technologie de rupture

Lauréat, en 2011, de l'appel à projets « Biotechnologie et Bioressources » des Investissements d'avenir, lancé dans le cadre du grand emprunt, BIORARE repose sur une technologie de rupture : l'électrosynthèse microbienne. Ce n'est autre que la production de composés organiques par la réduction du dioxyde de carbone, elle-même réalisée grâce à l'action de micro-organismes fixés sur la cathode d'une cellule électrochimique. Le procédé met ainsi en œuvre un système dit bioélectrochimique (BES).

L'utilisation de cette technique pour le raffinage des déchets organiques présente comme avantage de coupler un traitement par oxydation des déchets à la production de molécules d'intérêt. Celle-ci peut être physiquement séparée de la synthèse des produits chimiques d'origine biologique. Conséquence : la récupération des biomolécules est facilitée et les risques de contamination limités.

Grâce au financement du grand emprunt et à la collaboration avec de grands industriels, séduits par le projet, un cahier des charges technique, environnemental, économique et d'acceptabilité va pouvoir être établi en vue de préparer une future industrialisation. //

POUR EN SAVOIR PLUS
A. Bridier, E. Desmond-Le Quemener, L. Rouillac, C. Madigou, E. Blanchet, B. Erable, A. Bergel, A. Carmona, E. Trably, N. Bernet, L. Aissani, L. Giard, L. Renvoise, A. Bize, L. Mazeas, T. Bouchez. 2014. **COMBINATION OF BIOANODE AND BIOCATHODE FOR THE CONVERSION OF WASTES INTO BIOCOMMODITIES USING MICROBIAL ELECTROSYNTHESIS.**

EN BREF

Du froid en « coulis »

Quels fluides pour transporter le froid dans les installations frigorifiques du futur ? Les recherches avancent sur différents fluides de type « coulis » (coulis de glace, coulis d'hydrates et coulis de paraffine) à base d'eau, de sels et de glycol, pour transporter le froid sans aucun impact sur l'environnement. Des procédés équipent aujourd'hui des installations frigorifiques avec des résultats très probants : économie d'énergie, aucun fluide toxique, etc.

IRSTEA

© Madeleine Carrouée

Matériau à changement de phase pour le stockage du froid.

Inventer la réfrigération du futur

Le froid alimentaire est responsable à lui seul de 8 % de la consommation énergétique mondiale et de 2,5 % des émissions de gaz à effet de serre. Les 26 partenaires du projet européen FRISBEE ont donc planché sur la réfrigération du futur. Parmi les succès développés : le froid magnétique qui ne mobilise aucun fluide frigorigène ou le recours aux matériaux à changement de phase qui permet de réduire la consommation d'énergie.

IRSTEA

© Joomla

Le froid alimentaire : un fort potentiel d'économies d'énergie et un enjeu sanitaire.

© A. Gac/IRSTEA

Usine de méthanisation en Allemagne.

Méthanisation à la ferme

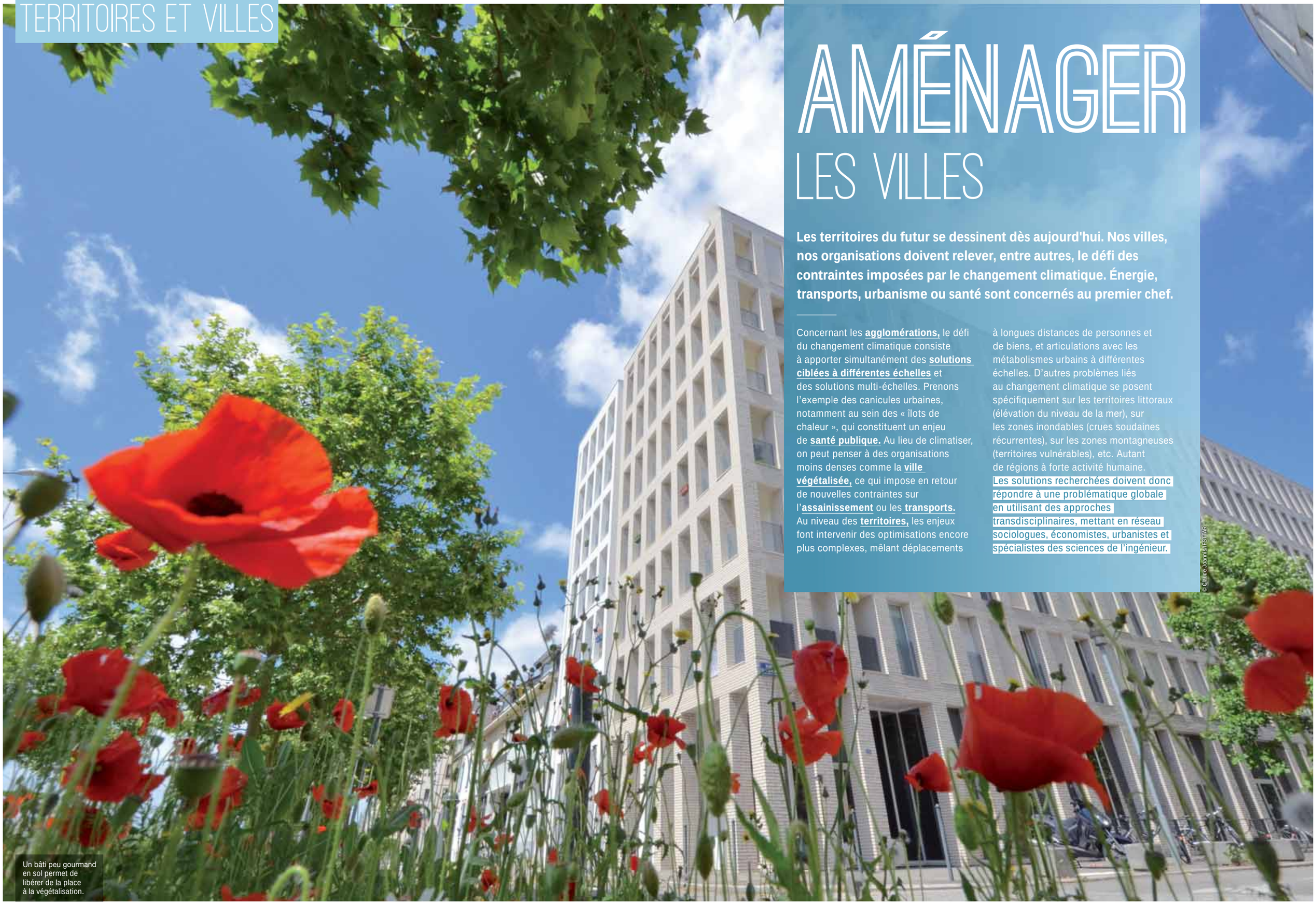
La méthanisation à la ferme permet la production d'une énergie durable et renouvelable qui limite le recours aux énergies fossiles émettant des gaz à effet de serre. Les recherches sur l'optimisation des mélanges visent aujourd'hui une méthanisation collective qui utilise tous les produits du territoire. En collaboration avec une PME, les chercheurs ont développé une méthodologie pour mettre en place la filière sur l'ensemble d'un territoire en minimisant les impacts environnementaux. Une filière s'organise déjà en Bretagne.

IRSTEA

Réutiliser le CO_2 pour en réduire les émissions

VASCO, pour Valorisation et stockage du CO_2, étudie les pistes de valorisation du CO_2 émis par l'activité industrielle du bassin de Fos-sur-Mer, afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère : réutilisation du CO_2 purifié dans l'industrie, injection des fumées dans des gisements de pétrole afin d'optimiser leurs rendements ou encore stockage géologique dans des puits aquifères salins de la région PACA. Suite à de premiers travaux (2011-2012), une nouvelle voie prometteuse a vu le jour : l'absorption par photosynthèse du CO_2 via une culture de microalgues. C'est le projet VASCO 2 (2015-2018), qui va mettre en place un système de production d'algues marines sur plusieurs hectares de cultures en Méditerranée. Les marchés de l'énergie alimentaire ou motrice pourraient être visés.

IFREMER



AMÉNAGER LES VILLES

Les territoires du futur se dessinent dès aujourd'hui. Nos villes, nos organisations doivent relever, entre autres, le défi des contraintes imposées par le changement climatique. Énergie, transports, urbanisme ou santé sont concernés au premier chef.

Concernant les **agglomérations,** le défi du changement climatique consiste à apporter simultanément des **solutions ciblées à différentes échelles** et des solutions multi-échelles. Prenons l'exemple des canicules urbaines, notamment au sein des « îlots de chaleur », qui constituent un enjeu de **santé publique.** Au lieu de climatiser, on peut penser à des organisations moins denses comme la **ville végétalisée,** ce qui impose en retour de nouvelles contraintes sur l'**assainissement** ou les **transports.** Au niveau des **territoires,** les enjeux font intervenir des optimisations encore plus complexes, mêlant déplacements à longues distances de personnes et de biens, et articulations avec les métabolismes urbains à différentes échelles. D'autres problèmes liés au changement climatique se posent spécifiquement sur les territoires littoraux (élévation du niveau de la mer), sur les zones inondables (crues soudaines récurrentes), sur les zones montagneuses (territoires vulnérables), etc. Autant de régions à forte activité humaine. Les solutions recherchées doivent donc répondre à une problématique globale en utilisant des approches transdisciplinaires, mettant en réseau sociologues, économistes, urbanistes et spécialistes des sciences de l'ingénieur.

© Claude Jeanmart/IFSTTAR

Un bâti peu gourmand en sol permet de libérer de la place à la végétalisation.

© Pascal Taburet/Météo-France

Baignade improvisée à Paris lors de la canicule, le 26 juillet 2012.

FOCUS

COMMENT ADAPTER NOS VILLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

QUOI

MIEUX VIVRE EN ENVIRONNEMENT URBAIN

Étendues ou compactes ? Plus vertes ? Alimentées à l'énergie solaire ? Nos villes de demain tendront vers une architecture nouvelle. Quant aux habitants, leurs comportements devront s'adapter. CNRS MÉTÉO FRANCE

De nombreux chercheurs travaillent sur les indispensables stratégies d'adaptation de la ville au changement climatique. La France est en pointe dans ce domaine, notamment avec le projet MUSCADE (Modélisation urbaine et stratégie d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique), qui réunit plusieurs équipes de chercheurs d'horizons différents, météorologues, spécialistes de l'environnement et du bâtiment, économistes, architectes ou encore géographes. À la clé : étudier l'interaction entre le changement climatique, l'énergie dans les villes et leur expansion, d'aujourd'hui à 2100. Des outils précieux pour les concepteurs de la ville de demain…

Pour représenter la ville du futur, des projections ont été construites en combinant des hypothèses climatiques et macroéconomiques telles que le prix de l'énergie, la croissance ou la démographie, mais aussi des hypothèses d'évolution du domaine urbain (ville étendue ou compacte), ainsi que des techniques de construction et de production d'énergie décentralisée (végétalisation, panneaux solaires). Les premiers résultats ont été rendus publics, en octobre 2014, à Paris, lors de la conférence « Chaleur sur la Ville ».

Vers une ville plus étendue

L'îlot de chaleur urbain concerne une élévation locale des températures en milieu urbain par rapport aux zones rurales voisines. S'il se trouve peu influencé par les stratégies d'expansion urbaine, l'étude constate que le confort thermique des habitants serait dégradé dans l'hypothèse d'une ville compacte, du fait de la concentration de population dans le centre de l'agglomération. Par ailleurs, les consommations d'énergie des éléments bâtis restent similaires pour les villes étendues et compactes, selon les chercheurs. Au final, le contrôle de l'expansion urbaine influerait faiblement sur les émissions de gaz à effet de serre (conséquences des consommations d'énergie des bâtiments). Ces dernières étant en réalité en lien étroit avec les technologies utilisées dans les moyens de transport.

> « *Les comportements des habitants jouent un rôle considérable dans la consommation d'énergie globale de la ville.* »

Une ville plus verte, mais comment ?

Malgré la récente mode de la végétalisation des toits et des murs, cette stratégie n'est pas la plus efficace pour tendre vers la ville verte. Si la végétalisation est bien une clé pour rafraîchir l'air de la ville, elle doit être de pleine terre : « *Les toits végétalisés ont une influence limitée sur le confort extérieur mais peuvent améliorer l'isolation du bâti* », insiste l'étude.

Puisque la végétation ne refroidit l'air, en été, que si elle est régulièrement arrosée, les systèmes de gestion de l'eau au niveau local, avec récupération d'eau à l'échelle du quartier ou du bâtiment, deviennent un enjeu d'envergure. Par ailleurs, « *les stratégies de végétalisation de la ville sont indissociables des choix de formes architecturales, qui contraignent la surface au sol disponible* ». Le choix du bâti, peu gourmand en surface au sol, est un facteur à ne pas négliger pour libérer de la place à la végétalisation.

Repenser l'utilisation de l'énergie solaire

Tout comme le toit végétalisé, le panneau photovoltaïque n'est pas la panacée, contrairement aux idées reçues. Dans les faits, son utilisation ne permet de diminuer l'îlot de chaleur urbain qu'à un faible niveau. En revanche, une implantation massive de panneaux sur les toits pourrait compenser, à l'échelle annuelle, la consommation d'énergie des bâtiments pour le chauffage et la climatisation.

Chaque habitant a un rôle à jouer

Fermer les volets pendant la journée, en plein été ; utiliser raisonnablement la climatisation ou encore baisser sa consommation de chauffage (avec une température de base à 19 °C), voici quelques-unes des bonnes habitudes à prendre par les habitants. L'étude MUSCADE évalue que l'impact des choix de chacun d'entre nous est comparable aux effets induits par les solutions techniques telles que l'isolation des bâtiments ou la végétalisation. //

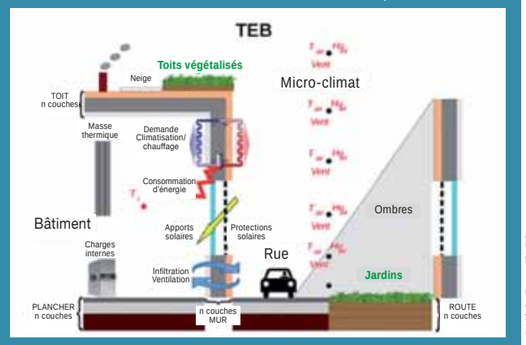
POUR EN SAVOIR PLUS
Modélisation urbaine et stratégies d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique
> www.cnrm-game.fr/spip.php?rubrique134

Pour visualiser la vidéo du CNRS *Des énergies naturelles pour la ville.*

MODÉLISER LA VILLE NOUVELLE

NEDUM, GENIUS ou encore *Town Energy Balance* : autant de modèles numériques pour dessiner le « système ville », son évolution et les processus liés à l'énergie. NEDUM se veut un modèle d'expansion urbaine basé sur des mécanismes socio-économiques, des années 1900 à la fin du 21ème siècle. Plusieurs scénarios de prospective sont étudiés. Carte archétypale et évolution des îlots architecturaux urbains simulés, tel est le credo du modèle GENIUS. Celui-ci permet d'évaluer la morphologie à l'échelle d'un quartier. Quant au microclimat urbain, il est simulé par un outil appelé *Town Energy Balance*. Il utilise des processus physiques liés à la géométrie urbaine. Concrètement, le calcul du bilan interne du bâti permet de représenter la consommation énergétique de la ville.

Schéma de modélisation d'un « système ville ».



© Météo-France/CNRS

EN BREF

Aménagement : tenir compte des interactions biosphère-atmosphère

*Permettre aux professionnels de l'aménagement de répondre de manière plus satisfaisante à la prise en compte des interactions biosphère-atmosphère, dans les stratégies d'aménagement des territoires et d'occupation des sols… **C'est l'objectif d'un nouveau programme** de recherche mené dans deux régions pilotes françaises. Cela permettra de saisir les impacts de l'occupation et de l'utilisation des sols sur le climat ainsi que sur la chimie atmosphérique. Un travail d'évaluation offrira également la possibilité de définir des indicateurs à échanger entre climatologues, météorologues et aménageurs.*

AGROPARISTECH INRA CEA CNRS

Quel climat à Paris à la fin du siècle ?

*Les résultats du projet EPICEA (Étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne) font ressortir, **pour la fin du siècle, une hausse de la** température de l'air comprise entre 2 et 4 °C. Ce phénomène varie selon le niveau d'urbanisation : centre-ville, banlieue, **campagne. La tendance s'oriente vers** des hivers plus doux et des étés beaucoup plus chauds qu'aujourd'hui.*

MÉTÉO FRANCE

© Jean-Marc Prévost/Météo-France

Le Sacré-Cœur à Paris.

Comment contrer les îlots de chaleur urbains

Lors de fortes chaleurs en ville, la température ne redescend pas la nuit, avec parfois des écarts de + 10 °C entre la ville et la campagne alentour. Ce phénomène, encore observé cet été, s'appelle l'« îlot de chaleur urbain ». Il devrait s'amplifier sous l'effet de la hausse des températures liée au changement climatique. Pour contrer ce phénomène, qui entraîne un stress thermique sur le corps humain, la présence de végétation dans la ville serait un bon moyen. Des recherches sont en cours sur le sujet, notamment à Singapour mais aussi à Paris (murs ou toits végétalisés, parcs, trames vertes, etc.). L'agriculture urbaine pourrait, pourquoi pas, y trouver sa place.

MÉTÉO FRANCE IFSTTAR

Aide à la décision : ECORCE 2.0 étendu

*Les acteurs du génie civil expriment, depuis plusieurs années, le besoin **de disposer d'outils d'évaluation** (méthodes, référentiels, logiciels), au sens du développement durable. Le but étant de fournir une aide à la décision pour la construction, **l'entretien et l'exploitation d'infrastructures routières. L'outil actuel d'aide à la décision** ECORCE 2.0 (Écocomparateur route construction entretien) met **en œuvre l'analyse du cycle de vie (ACV) d'une infrastructure routière,** dans ses phases de construction et **d'entretien. Bonne nouvelle pour** les professionnels du secteur, il va voir ses fonctionnalités étendues.*

IFSTTAR

Du captage au stockage du CO_2, le projet européen CASTOR tend vers une utilisation plus propre des énergies fossiles.

© Nicolas Rodet/IFP ENERGIES NOUVELLES

RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES

L'atténuation vise à stabiliser les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, soit en « piégeant » du CO_2 déjà émis, soit en limitant directement son émission.

L'objectif général de l'atténuation est de limiter nos impacts directs sur le système climatique tout en protégeant l'environnement. La limitation du niveau de concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère est un enjeu majeur. Deux approches complémentaires sont possibles : la réduction de la production de GES dans les filières les plus productrices (énergie, transports, bâtiments, industries, etc.), et la récupération, le traitement et la séquestration des GES.
La réduction des émissions de CO_2 dans l'atmosphère touche un très grand nombre de programmes scientifiques : développement d'énergies nouvelles et renouvelables (photovoltaïque, éolien, géothermie, etc.), amélioration de l'efficacité énergétique (des bâtiments, des automobiles, etc.), optimisation énergétique de nos processus (industriels, transports, etc.).
Sur le second volet de l'atténuation, **le stockage du CO_2 dans le sous-sol** fait son chemin depuis une trentaine d'années et constitue une voie prometteuse, même s'il est encore nécessaire de mettre au point des démonstrations pour différents types de configurations géologiques ou industrielles, et de convaincre la société. Faisant d'une pierre deux coups, on peut même imaginer de coupler l'atténuation à la mise en œuvre d'énergies renouvelables comme la géothermie ou la biomasse.

FOCUS

CAPTER ET STOCKER LE CO_2

Stocker le CO_2 dans le sous-sol : c'est une des solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre vers l'atmosphère. Reste à mieux comprendre ses conséquences et à tester sa viabilité. IFP ENERGIES NOUVELLES IFSTTAR BRGM CNRS

Si capter et réinjecter le CO_2 dans des cavités géologiques est intéressant sur le plan économique, *« la viabilité de la solution requiert une compréhension fine des conséquences à court et long termes de l'injection de CO_2 dans des formations géologiques »*, expliquent les scientifiques français. Des formations géologiques à grande profondeur fournissent des « réservoirs » naturels pour le stockage et le confinement, sur des périodes pluri-centennales : réservoirs épuisés de pétrole et de gaz, aquifères salins profonds, veines de charbon, etc.

Les recherches se sont en particulier focalisées sur la caractérisation des réservoirs, les conséquences de l'injection de CO_2 et le développement d'outils permettant d'éviter tout risque de fuite du gaz hors du réservoir, car c'est un danger potentiel pour la population, les écosystèmes et les eaux souterraines. Les scientifiques étudient également l'évolution de « l'injectivité » (capacité d'injection du CO_2), *« sa diminution pouvant entraver la pérennité économique et technique de l'opération »*. Les phénomènes en cause : microfissures en milieu poreux, dégradation du ciment utilisé avec le temps, attaques acides après injection du CO_2 ou encore discontinuités géologiques naturelles ou artificielles…

Maîtriser la chaîne technologique

Par ailleurs, les scientifiques développent une maîtrise complète de la chaîne technologique, depuis le traitement du gaz jusqu'à sa réinjection dans le sous-sol. Parmi les voies de captage, la postcombustion et l'oxycombustion sont testées.

À la clé, des chiffres impressionnants. Ainsi, le projet européen CASTOR a lancé un premier pilote mondial de captage du CO_2 sur une centrale thermique au charbon de Dong Energy, en 2006, à Esbjerg au Danemark. Il a démontré la possibilité de capter 90 % du CO_2 émis par une centrale à charbon, grâce à l'utilisation de solvants adaptés.

Avec un bémol tout de même : les cadres juridique et financier ne sont pas en place pour la filière, et la société est encore réticente à l'idée de développer des stockages de CO_2. Le déploiement potentiel de ces technologies est dépendant de décisions politiques. //

Pour visualiser l'animation *CASTOR - Pilote de captage de CO_2*

DES LOGICIELS POUR SÉCURISER LE STOCKAGE

Les chercheurs développent des logiciels et des technologies pour stocker le CO_2 en toute sécurité. Leurs travaux portent sur la caractérisation des sites, l'estimation des capacités de stockage, l'analyse des risques, l'optimisation de l'injection du CO_2 ainsi que le monitoring géochimique par écoute sismique.

EN BREF

Des micro-organismes tueurs

L'oxyde nitreux (N_2O) est un puissant gaz à effet de serre également responsable de la destruction de la couche d'ozone. La capacité des sols à éliminer le N_2O est connue. Des chercheurs ont montré qu'elle peut être expliquée par la diversité et l'abondance d'un nouveau groupe de micro-organismes, capables de le réduire en azote atmosphérique (N_2). Ces résultats soulignent l'importance de la diversité microbienne dans le fonctionnement des sols et pour les services qu'ils délivrent.

INRA

Séquestrer le CO_2 dans les sols cultivés

*L'agriculture engendre environ 23 % des émissions de GES. La FAO (*Food and Agriculture Organization*) a mis au point une méthode avec l'aide de chercheurs français : adopter des modes de culture favorables à la séquestration du carbone. Ils ont pu quantifier l'émission et le stockage des GES dans les sols cultivés des régions tropicales, et ont développé l'outil de calcul et d'aide à la décision EX-ACT (*Ex ante Carbon-balance Tool*). Fournissant une estimation des impacts de l'usage et du changement d'usage des sols, il permet ainsi d'évaluer des projets, des filières ou des politiques environnementales.*

IRD

Un complément alimentaire pour ruminants !

Le niveau de CH_4 atmosphérique (méthane) a plus que doublé, ces deux derniers siècles, essentiellement en raison d'activités humaines dont l'élevage de bétail. Or c'est un gaz à effet de serre au potentiel de réchauffement global 25 fois supérieur à celui du CO_2. L'utilisation d'un complément alimentaire issu de la fermentation d'une céréale par un champignon du genre Monascus *permet de réduire jusqu'à 30 % la production de méthane chez les ruminants.*

INRA

Les algues, biocarburant de demain

Les micro-algues ont un rendement photosynthétique intéressant pour la production de biocarburants. Des chercheurs ont développé un procédé de production de micro-algues couplée à celle de biogaz : l'Algotron. Une production de bioénergie de nouvelle génération qui pourrait rivaliser avec les autres productions de biocarburants.

INRA

L'archipel des Tuamotu, Polynésie française, pourrait être, un jour, rayé de la carte.

SAUVEGARDER LE LITTORAL

Zone de convergence entre air, terre et mer, le littoral est sensible au changement climatique. Quels risques le menacent ? Quelles solutions sont proposées par la recherche ?

Aux confluents de la terre, de la mer et de l'atmosphère, le littoral est un **environnement dynamique et fragile,** remarquable par sa biodiversité, sa complexité naturelle et les services qu'il rend à l'humanité. L'élévation du niveau de la mer, prévue entre 50 cm et 1 m d'ici 2100, va amplifier l'érosion des côtes sableuses, la submersion des côtes basses, la perturbation des estuaires, des nappes souterraines et étangs côtiers, notamment leur salinisation… Les espèces vivantes littorales, déjà menacées par les aménagements urbains, les pollutions et les espèces invasives, devront faire face à **l'augmentation des températures et l'acidification des eaux marines.** À l'échelle de quelques siècles, la **fonte des calottes polaires** pourrait élever le niveau de l'océan de plusieurs mètres, affectant 10 % de la population mondiale, et augmentant le nombre de **réfugiés climatiques.** Les objectifs des chercheurs sont triples : mieux connaître ces milieux fragiles, caractériser ces phénomènes liés au changement global et s'adapter aux conséquences inévitables en proposant des méthodes de gestion durable.

© Bruno Marty/IRD

FOCUS

COMMENT S'ADAPTER AUX CONSÉQUENCES DE L'IRRÉVERSIBLE MONTÉE DES EAUX

De nouveaux outils permettent d'identifier les zones côtières françaises les plus vulnérables. Ils sont utilisés pour anticiper les impacts et mettre en place des mesures d'adaptation. BRGM CNRS

Depuis 2011, l'élévation du niveau de la mer est prise en compte dans la réglementation relative aux risques côtiers. Ceci conduit à prendre en compte, dès aujourd'hui, une élévation du niveau de la mer de 60 cm, dans l'aménagement de territoires littoraux. Cette évolution de la réglementation constitue un exemple emblématique de première mesure d'adaptation, portant spécifiquement sur une manifestation inévitable du changement climatique.

Avec cette mesure, la recherche est sollicitée pour fournir des outils permettant de répondre aux questions suivantes : quelles sont les zones les plus vulnérables ? À partir de quelle période faut-il anticiper une aggravation marquée des risques côtiers : 2040, 2070 ou 2100 ? Peut-on modéliser les évolutions anticipées ? Comment évaluer les changements de fréquence et d'intensité des submersions marines ? C'est ainsi que des chercheurs français ont développé de nouveaux outils pour mieux évaluer les conséquences de la montée du niveau de l'eau, et permettre aux acteurs concernés de s'y adapter.

© BRGM

Suite aux tempêtes de décembre 2013 et janvier 2014, une érosion inquiétante s'est formée à Soulac-sur-Mer, Aquitaine.

Outils de diagnostic de la vulnérabilité des sites côtiers

Regroupés autour du thème « Identification des sites et périodes de temps critiques par rapport aux impacts de l'élévation du niveau marin », les travaux menés dans le cadre de plusieurs projets de recherche ont déjà permis de mieux identifier de quelle façon le changement climatique peut avoir des effets différenciés, selon les sites côtiers.

Les chercheurs ont ainsi pu mettre en place des outils de diagnostic de la vulnérabilité de la zone côtière à plusieurs échéances de temps (2050, 2100, etc.). Ces moyens de prévision prennent en compte l'élévation du niveau de la mer, sa variabilité régionale, le contexte géomorphologique et géologique local, ainsi que l'utilisation des sols et les activités anthropiques. Ces approches ont été notamment appliquées en Aquitaine, en Languedoc-Roussillon et à La Réunion. Des zones parfois déjà fortement affectées par l'érosion côtière et la submersion marine. //

EN BREF

Loire : comment va évoluer l'estuaire ?

*Soumis à des réductions du débit, à l'augmentation des risques d'inondations, à la remontée des eaux salées et au déplacement **du « bouchon vaseux », les estuaires sont** des espaces fragiles. Comment vont évoluer leurs structures salines et turbides et leur morphologie ? Pour tenter d'y répondre, des tests par modélisation hydrogéomorphologique de différents types d'estuaires ont étudié leurs évolutions, selon plusieurs scénarios climatiques. D'ores et déjà, cette étude sert de base pour tester des gestions alternatives des marais exploités pour le pâturage extensif ou des activités de chasse (cas particulier de l'estuaire de Loire).*

IFREMER

Vers une recomposition du territoire

Quelle recomposition spatiale pour les territoires menacés par les risques littoraux ? Il est nécessaire de disposer d'éléments de connaissance sur les phénomènes de submersion marine actuels et futurs. Un projet de recherche, dont les développements pourront être appliqués ailleurs, est porté par la ville d'Hyères-les-Palmiers. Il concerne les réflexions de recomposition de l'espace littoral (populations, transport, activités), sur la base d'une estimation des aléas de submersion par modélisations dynamiques à haute résolution (1 m). Cette étude illustre la maturité des outils de modélisation actuels, ainsi que l'influence relative des paramètres hydrodynamiques pour des réflexions à deux échéances (2030 et 2100).

BRGM

Tempêtes : modéliser le niveau marin à 10 cm près

Quelles zones côtières pourraient être submergées lors de tempêtes, si le niveau marin devait monter de 20 à 60 cm ? L'évaluation est très complexe, en raison de la très grande variabilité spatiale des niveaux d'eau extrêmes lors de tempêtes. Un programme de recherche récent a toutefois permis d'améliorer des modélisations hydrodynamiques actuelles pour atteindre des précisions à moins de 10 cm. Des niveaux de précision inégalés pour mieux modéliser les effets des tempêtes.

CNRS BRGM MÉTÉO FRANCE

ANTICIPER

LES RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Submersions marines, fortes pluies et inondations extrêmes, affaissements des sols, glissements de terrain... Le cortège des risques naturels qui accompagnent le changement climatique et sa première conséquence, la hausse des températures, est long. Combinaison d'aléas et de vulnérabilités, les risques sont au cœur d'enjeux internationaux essentiels.

Les aléas (séismes, inondations, tempêtes, feux de forêt...) ne sont pas une simple fatalité. Avec les progrès de la recherche et de la technologie, les experts sont désormais capables d'identifier les causes, d'analyser et de quantifier ces phénomènes, voire de les prévoir, au moins à court terme. **La vulnérabilité,** en relation avec le développement des territoires, est également un objet d'étude pour les chercheurs qui s'attachent à la réduire. Cela se traduit, par exemple, par des mesures de prévention (adaptation des zones urbaines, renforcement des spécifications techniques pour les constructions...), complétées par des systèmes d'alerte et de gestion de crise, de protection des populations, et par le déploiement de dispositifs spécifiques.
Les risques sont étudiés par les scientifiques comme un objet global. Ils touchent des pans entiers de la vie politique, sociale et économique. Il s'agit notamment d'adapter les comportements des populations face aux risques, ce qui pose aussi la question des droits de propriété, par exemple face au recul des littoraux sous les coups de boutoir de l'océan, mais aussi des droits de construction en zones inondables.

© L. Treluyer/GENAVIR

Le navire océanographique *Pourquoi pas ?* de l'IFREMER, lors de la campagne GEOVIDE, au large du Canada.

© T. Labellf/IRD

La méthode RMP est testée dans les Alpes.

FOCUS

À LA RECHERCHE DE L'EAU PERDUE SOUS LES GLACIERS

QUOI

PRÉVENIR LES RISQUES GLACIAIRES

Plus de 99 % de l'eau douce de la planète se trouve cachée dans les glaces ou sous la terre. Des géophysiciens français ont développé une méthode novatrice : la résonance magnétique des protons ou RMP. Application : la prévention des risques liés à l'accumulation des eaux de fonte des glaciers due au réchauffement.

IRD

À plus de 99 % enfouie dans les glaces ou sous terre, l'eau douce de notre planète n'est finalement pas si facile à déceler… En particulier, dans les régions semi-arides où cette ressource majeure est cachée, c'est-à-dire souterraine.

Certes, les hydrogéologues disposent de méthodes invasives pour la détecter et la quantifier. Ces techniques d'exploration ponctuelles par sondage ou forage se révèlent coûteuses et pas assez précises pour estimer le volume d'eau disponible dans une nappe. Les géophysiciens ont alors développé des techniques d'exploration indirecte depuis la surface. Celles-ci sont basées sur la propagation et la déformation d'ondes électriques ou magnétiques. Mais ce n'est toujours pas suffisant pour détecter l'eau souterraine…

Face à ce manque de précision, une équipe de chercheurs français a mis au point une nouvelle méthode basée sur la résonance magnétique des protons (RMP), en collaboration avec des scientifiques israéliens. Une application inattendue a même vu le jour, en Haute-Savoie, dans le domaine de la prévention des risques glaciaires. En juin 2010, un nouveau logiciel en 3D a permis d'estimer le volume d'eau stocké sous le glacier de Tête Rousse à 55 000 m³, soit le volume d'une vingtaine de piscines olympiques ! Un risque important pour les villages en aval. Les autorités organisent alors sa vidange artificielle, à plus de 3 200 mètres d'altitude. 48 000 m³ d'eau ont été pompés. Le volume restant après le drainage ne présentant plus de danger. En 1892, 175 personnes avaient péri suite à la rupture de la paroi du glacier, causée par une poche d'eau similaire. Autre exemple, en 1988, le lac Sabai Tsho, au Népal, s'est vidangé brutalement, dévastant tout sur son passage. Aujourd'hui, la RMP permet d'éviter le pire !

Pour comprendre le phénomène, il faut savoir que l'eau de fonte est généralement évacuée par des torrents qui coulent en surface, mais aussi sous la glace, et émergent à l'aval des glaciers. Dans certains cas, ces torrents sous-glaciaires ne font pas leur œuvre, et l'eau reste piégée sous la glace. D'où cette notion de poche, aujourd'hui quantifiable grâce à la RMP. Une aubaine car le réchauffement climatique fait craindre un affaiblissement du verrou glaciaire qui permet de retenir l'eau.

Mesurer le champ magnétique de l'eau des roches

« À ce jour, c'est la seule technique capable de détecter l'eau liquide dans le sous-sol ou sous un glacier à partir de la surface et d'en évaluer le volume », avancent les chercheurs.

Contrairement au sondage ou au forage, la méthode RMP est non intrusive. L'eau étudiée se situe à une profondeur comprise entre 0 et 100 mètres environ. Postés à la surface du sol, les chercheurs génèrent un courant électrique alternatif. Ce dernier crée un champ électromagnétique provoquant à son tour un phénomène de résonance des molécules d'eau dans le sous-sol. Ce champ magnétique est alors mesuré.

La résonance magnétique des protons est uniquement destinée à évaluer les quantités d'eau souterraine, contrairement aux techniques géophysiques traditionnelles, dont le but est d'analyser les anomalies de structures et les paramètres physiques.

> *« Une technique de prévention des risques en eaux profondes dans les régions semi-arides et les zones de montagne. »*

La RMP se révèle efficiente dans de nombreuses régions tropicales pour quantifier les ressources en eau cachées. Cette méthode trouve également une application inattendue en montagne où l'eau piégée au cœur des glaciers peut entraîner la création de poche sous-glaciaire. En cas de rupture, elle menace directement les zones habitées en aval. Seule solution : vidanger la poche d'eau avant qu'elle ne rompe d'elle-même. La méthode RMP se révèle donc applicable à de nombreuses régions dans le monde. //

POUR EN SAVOIR PLUS
A. Legchenko, M. Descloitres, C. Vincent, H. Guyard, S. Garambois, K. Chalikakis, M. Ezersky. **THREE-DIMENSIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING FOR GROUNDWATER**, *New Journal of Physics,* 2011, 13, pp.025022.

Pour visualiser la vidéo *Le dessous des karsts en Méditerranée.*

EN BREF

Des incendies de forêt en augmentation

Un groupe de chercheurs a pour mission de caractériser l'évolution du risque météorologique d'incendie en France en s'appuyant sur le calcul de l'indice IFM (indice forêt météo). Ce risque devrait augmenter avec le réchauffement climatique. L'étude des périodes 1961-1980 et 1989-2008 montre une hausse marquée de l'IFM moyen sur l'ensemble du territoire. Il a augmenté de 22 % sur la période annuelle et de 24 % sur la période estivale. Une hausse localement très marquée : l'indice peut atteindre 20 pour certains départements comme l'Hérault et la Corse du Sud. Un allongement des périodes de feux et une augmentation du nombre de régions concernées par les incendies de forêt sont donc à craindre.

MÉTÉO FRANCE

Le danger du pergélisol

Typique des régions arctiques, le pergélisol (permafrost en anglais), c'est-à-dire le sol gelé depuis des milliers d'années, représente 25 % des terres émergées dans l'hémisphère Nord. Il dégèle peu à peu sous l'effet du réchauffement climatique, en libérant de puissants gaz à effet de serre, principalement du CO_2 et du méthane. Ce phénomène a été largement sous-estimé par les modèles climatiques. Des chercheurs se livrent à un travail de modélisation des émissions gazeuses : le vieux carbone serait en train d'être délesté dans l'atmosphère !

CNRS

© Laure Calloce/CNRS Photothèque/Takuvik

Mares de thermokarst sous la neige dues à la fonte du pergélisol (Nunavik, Arctique canadien).

Anticiper les risques naturels en montagne

Le projet RHYTMME, pour Risques hydrométéorologiques en territoires de montagnes et méditerranéens, combine un réseau de radars de nouvelle génération et une plateforme web de cartographie des risques hydrométéorologiques. Outre des cartes des cumuls de pluies fournis par les radars, l'utilisateur a accès, en temps réel, aux cartes produites par un outil d'alerte du risque de crue. D'autres aléas de montagne sont visualisables sur la plateforme : susceptibilité aux laves torrentielles, aux glissements de terrain et aux chutes de blocs. Objectif : mieux prévenir les phénomènes dangereux en montagne, dont la fréquence pourrait augmenter avec le changement climatique.

IRSTEA MÉTÉO FRANCE

© Patrice Meriaux/IRSTEA

Radar RYTHMME de nouvelle génération dans les Alpes du Sud.

Qualité de l'air : quels scénarios ?

Une étude globale sur la qualité de l'air permet, grâce à une vaste comparaison multimodèle, d'estimer l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère avec le changement climatique, que ce soit pour les gaz ou pour les aérosols, sur la période 1850-2100. L'augmentation de l'ozone est très forte depuis 1850. Selon différents scénarios étudiés, l'évolution en 2030 et 2100 démontre des tendances différentes : un scénario optimiste prévoit une diminution dès 2030. Pour d'autres, la diminution intervient entre 2030 et 2100, à l'exception d'un scénario pour lequel la charge troposphérique d'ozone continue d'augmenter fortement.

MÉTÉO FRANCE CNRS

Suivi des pluies : la téléphonie mobile prend le relais

Le suivi des pluies est essentiel dans de nombreux domaines de recherche (modélisations hydrologique, climatique et agricole), mais aussi opérationnels (météorologie, services des eaux, sécurité alimentaire, alertes inondations, sécheresse, etc.). Malheureusement, les réseaux d'observation demeurent insuffisants. Or, 20 % des terres émergées dans le monde sont dotées d'un réseau mobile, couvrant 90 % de la population mondiale. Les antennes-relais enregistrent les perturbations du signal pour la surveillance de la qualité des réseaux, en partie dues aux précipitations. L'idée des chercheurs est de tirer parti de cette quantité de données pour améliorer le suivi et la spatialisation des pluies. Une méthode qui vient de prouver son efficacité au Burkina Faso où une fiabilité de 95 % est avérée pour détecter les événements pluvieux.

IRD

L'ALLIANCE

AU CŒUR DE LA RECHERCHE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi) coordonne la recherche publique environnementale française, oriente sa programmation, assure sa promotion à l'international et vis-à-vis des acteurs privés et de la société civile.

→ Fédérer la recherche environnementale française. **Créée à l'initiative de ses 12 membres fondateurs, AllEnvi représente une communauté de près de 20 000 scientifiques.**

→ Relever les grands défis sociétaux. **L'alliance rassemble et oriente l'ensemble de la recherche environnementale française pour faire face aux défis des changements globaux. Il s'agit notamment d'anticiper les adaptations durables, d'amorcer la transition écologique et d'explorer les voies d'une croissance verte.**

→ Agir au cœur de la stratégie nationale de recherche. **L'alliance définit les grandes orientations scientifiques françaises dans le domaine environnemental. Sa force : mettre en commun des expertises multiples et se doter ainsi d'une approche systémique, transversale et pluridisciplinaire des questions environnementales.**

Les 12 membres fondateurs

Bureau de recherches géologiques et minières
Service géologique national, le BRGM est l'établissement public de référence dans le domaine des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol.
www.brgm.fr

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Le CEA intervient dans quatre grands domaines : les énergies bas carbone, les technologies pour l'information et les technologies pour la santé, les Très grandes infrastructures de recherche (TGIR), la défense et la sécurité globale.
www.cea.fr

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
En partenariat avec les pays du Sud dans leur diversité, le CIRAD produit et transmet de nouvelles connaissances pour accompagner leur développement agricole et contribuer au débat sur les grands enjeux mondiaux de l'agronomie.
www.cirad.fr

Centre national de la recherche scientifique
Le CNRS exerce son activité dans tous les champs de la connaissance, en s'appuyant sur plus de 1 200 laboratoires. Il est le premier partenaire des établissements d'enseignement supérieur et de recherche en France, et un acteur de premier ordre de la recherche au niveau européen et international.
www.cnrs.fr

Conférence des présidents d'université
La CPU rassemble les dirigeants exécutifs des universités et établissements d'enseignement supérieur et de recherche afin de porter la voix et les valeurs des universités dans le débat public. Elle comprend actuellement plus de 120 membres : présidents d'université, directeurs d'écoles normales supérieures, d'INP, d'INSA, administrateurs généraux mais également des membres associés.
www.cpu.fr

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
L'IFREMER contribue à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et du littoral et au développement durable des activités maritimes. À ces fins, il conçoit et met en œuvre des outils d'observation, d'expérimentation et de surveillance. Les moyens navals de l'IFREMER participent depuis 2008 à la TGIR flotte.
www.ifremer.fr

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
L'IFSTTAR conduit des travaux de recherche finalisée et d'expertise dans les domaines des transports, des infrastructures, des risques naturels et de la ville pour améliorer les conditions de vie de nos concitoyens et, plus largement, favoriser un développement durable de nos sociétés.
www.ifsttar.fr

Institut national de la recherche agronomique
Premier institut de recherche agronomique en Europe, l'INRA produit des connaissances scientifiques dans trois domaines : l'alimentation, l'agriculture et l'environnement avec l'objectif d'aider à nourrir durablement le monde.
www.inra.fr

Institut de recherche pour le développement
L'IRD, organisme de recherche original et unique dans le paysage européen de la recherche, a pour vocation de mener des recherches aux Sud, pour les Sud et avec les Sud.
www.ird.fr

Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
Labellisé Carnot, IRSTEA développe des recherches finalisées en partenariat avec et auprès des collectivités publiques et des acteurs socio-économiques pour les accompagner sur les questions de l'eau (ressources, qualité, risques), des technologies vertes et de la gestion des territoires.
www.irstea.fr

Météo-France
Service météorologique et climatologique national, Météo-France a plusieurs missions majeures : le développement et la maintenance d'un réseau d'observation, la collecte et le traitement de données climatologiques, la prévision du temps, l'élaboration de projections climatiques et la recherche et la formation sur les différents domaines de la météo et du climat.
www.meteofrance.com

Muséum national d'histoire naturelle
Établissement public culturel, scientifique et professionnel, le MNHN se consacre à la connaissance et à la conservation de la biodiversité et aux relations entre l'Homme et la nature depuis sa création en 1635.
www.mnhn.fr

Les 16 membres associés

Institut agronomique, vétérinaire et forestier de France
www.agreenium.org

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
www.andra.fr

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
www.anses.fr

Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs
www.cdefi.fr

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
www.cerema.fr

Conférence des grandes écoles
www.cge.asso.fr

Centre national d'études spatiales
www.cnes.fr

Fondation pour la recherche sur la biodiversité
www.fondationbiodiversite.fr

IFP Energies nouvelles
www.ifpenergiesnouvelles.fr

Institut national de l'information géographique et forestière
www.ign.fr

Institut national de l'environnement industriel et des risques
www.ineris.fr

Institut national de recherche en informatique et en automatique
www.inria.fr

Institut polaire français Paul-Emile Victor
www.institut-polaire.fr

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
www.irsn.fr

Laboratoire national de métrologie et d'essais
www.lne.fr

Service hydrographique et océanographique de la Marine
www.shom.fr

AU CŒUR
DE LA STRATÉGIE
NATIONALE
DE RECHERCHE

AllEnvi

Alliance nationale de recherche pour l'environnement

Créée le 9 février 2010 à l'initiative de 12 membres fondateurs,
AllEnvi est l'une des cinq alliances thématiques de recherche

12 MEMBRES FONDATEURS

16 MEMBRES ASSOCIÉS

UNE COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

DE 20 000 CHERCHEURS, INGÉNIEURS ET ENSEIGNANTS-CHERCHEURS

UNE MISSION

MOBILISER ET COORDONNER LES COMPÉTENCES

pour programmer la recherche environnementale française
et relever les défis sociétaux de l'environnement

www.allenvi.fr

Les 12 membres fondateurs