

GIS Climat-Environnement-Société



**Approches interdisciplinaires
du changement climatique**
L'expérience du GIS Climat-Environnement-Société
2007-2016



Photo de couverture :
Plaine Ampère après une averse de neige.
© Yves FRENOT/CNRS Photothèque

Approches interdisciplinaires du changement climatique

**L'expérience du GIS Climat-Environnement-Société
2007-2016**

**sous la responsabilité éditoriale de
Sylvie Joussaume, Chantal Pacteau,
Clotilde Péan et Robert Vautard**

Mars 2016

Préambule

Cet ouvrage présente l'expérience interdisciplinaire menée par un ensemble de laboratoires de recherche franciliens de 2007 à 2016 sur le problème climatique. La création d'une structure *ad hoc* – le Groupement d'intérêt scientifique Climat-Environnement-Société (GIS Climat) – rassemblant ces laboratoires a permis de stimuler la synergie entre questions de recherche et expertises multiples sur le changement climatique, ses conséquences et les moyens d'y faire face en s'appuyant sur des compétences en climatologie, hydrologie, écologie, économie, santé et sciences humaines et sociales.

Les travaux de recherche présentés ici ont été synthétisés autour de quatre grandes thématiques : interactions climat-économie, approches multidisciplinaires pour l'étude des événements extrêmes, écosystèmes et eau : impacts, adaptation et atténuation, changement climatique et santé. Une cinquième thématique rend compte de comment la dynamique interdisciplinaire s'est construite au sein du GIS Climat et propose une analyse réflexive de cette dynamique et de l'expérience acquise.

L'ensemble de ces travaux et des résultats auxquels ils ont conduit ont également fait l'objet d'une conférence intitulée « Approches interdisciplinaires du changement climatique », qui s'est tenue en novembre 2015. L'ensemble des présentations, écrites et orales, peuvent être consultées sur le site du GIS Climat (<http://www.gisclimat.fr/retour-sur-la-conference-approches-interdisciplinaires-du-changement-climatique>

Le GIS Climat a été une aventure scientifique et humaine que nous avons voulu partager dans cet ouvrage en forme de bilan. Nous espérons que ce bilan témoignera de la pertinence scientifique et sociale de l'approche interdisciplinaire pour traiter d'un défi aussi considérable et complexe que celui posé par le changement climatique aux sociétés humaines.

Sylvie Joussaume



Prologue 10

Interactions climat-économie 13

Introduction 14

Émissions de carbone 14

Usage des sols 22

Conclusion et perspectives 27

Références 27

Approches multidisciplinaires pour l'étude des événements extrêmes 29

Introduction 30

Enjeux et verrous scientifiques 30

Comment observer et modéliser un événement rare 31

Quelles échelles spatiales et temporelles 36

Comment évaluer le rôle des processus couplés dans la dynamique des événements extrêmes 38

Comment détecter les tendances dans les événements extrêmes 41

Au delà du GIS Climat-Environnement-Société 41

Perspectives 41

Références 42

Écosystèmes et ressources en eau : impacts, adaptation et atténuation 45

Introduction 46

Descente d'échelle pour les besoins d'études d'impact climatique : avantages et limites ? 46

Utilisation d'indicateurs écologiques pour mieux comprendre les impacts du climat passé 49

Améliorer la compréhension et la modélisation des mécanismes d'impacts climatiques sur la biodiversité, le fonctionnement de l'écosystème et l'hydrologie 52

Adaptation et atténuation climatique : quantifier et gérer l'incertitude 56

Perspectives 59

Références 60

Changement climatique et santé 63

Introduction 64

Paramètres physiques du climat 64

Composition atmosphérique et qualité de l'air 68

Sommaire

Impacts liés aux changements d'écosystèmes **73**

Conclusion **78**

Références **79**

Construction de l'interdisciplinarité au sein du GIS Climat **81**

Introduction **82**

La spécificité interdisciplinaire du GIS Climat **83**

Apports et limites des outils interdisciplinaires développés par le GIS **85**

Que retenir de l'initiative du GIS Climat ? **90**

Conclusion **95**

Références **96**

Fiches projets **97**

Projet ACCACYA **98**

Projet ACHIA **99**

Projet ADCEM **100**

Projet AFOCLIM **102**

Projet AGECCAO **103**

Projet CARBOSOIL **104**

Projet CCTV 1&2 **106**

Projet CLIMVIB **108**

Projet DECLIC **109**

Projet ENVIGLOB **110**

Projet EPIC3 **111**

Projet EREBUS **112**

Projet ERIC **113**

Projet HUMBOLDT **114**

Projet MEDICCBIO **116**

Projet MICLIV **117**

Projet MORCEMED **118**

Projet PAC **119**

Projet PASTEK **121**

Projet PEPER **123**

- Projet PLUIES TIBET **124**
- Projet PREMAPOL **125**
- Projet PRODIGUER **126**
- Projet RADIOCLIMFIRE **127**
- Projet RAMONS **128**
- Projet REGYNA **129**
- Projet RENASEC **131**
- Projet RISC UV / EXPO UV **133**
- Projet SARCES **135**

Annexes 137

- Annexe n°1 : les laboratoires du GIS Climat **138**
- Annexe n°2 : les axes thématiques du GIS Climat **140**
- Annexe n°3 : les publications du GIS Climat **142**
- Annexe n°4 : les animations du GIS Climat **146**
- Annexe n°5 : les projets du GIS Climat en partenariat national et international **158**
- Annexe n°6 : les publications des projets du GIS Climat **160**

Le Groupement d'intérêt scientifique Climat-Environnement-Société (GIS Climat) c'est...

Un consortium scientifique

Créé en mars 2007, le GIS Climat-Environnement-Société est un groupement de dix-sept laboratoires d'Île-de-France, de disciplines variées, qui a pour vocation d'inciter, soutenir et renforcer des recherches interdisciplinaires relatives au changement climatique et à ses conséquences sur l'environnement et la société.

Des moyens humains

Le GIS Climat fonctionne grâce à une équipe permanente de trois personnes qui définit les grandes orientations scientifiques, aidée par une responsable de la communication et de l'administration. Le comité d'orientation, constitué d'une dizaine d'experts choisis au sein des laboratoires partenaires, accompagne et conseille toutes les décisions scientifiques. Le conseil de groupement, où siègent les représentants des membres fondateurs et des ministères, se prononce sur les orientations stratégiques du consortium. Quant au conseil scientifique, formé d'experts reconnus internationalement, il exprime son avis et formule des recommandations sur les travaux effectués et les orientations proposées.

Une équipe permanente

Directrice :
Sylvie Joussaume
Sylvie.Joussaume@gisclimat.fr

Directeur adjoint :
Robert Vautard
Robert.Vautard@gisclimat.fr

Directrice adjointe à l'interdisciplinarité :
Chantal Pacteau
Chantal.Pacteau@gisclimat.fr

Responsable communication et administration : Clotilde Péan
Clotilde.Pean@gisclimat.fr



Des moyens financiers

Le consortium bénéficie d'une dotation de huit millions d'euros sur une période de neuf ans (2007-2016), apportée par ses six membres fondateurs :

- le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) 
- le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) 
- l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines 
- l'École polytechnique 
- l'Université Pierre et Marie Curie 
- l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) 
- avec le soutien des ministères en charge de la recherche et de l'environnement.  

17 laboratoires partenaires

Climat



Sept laboratoires fédérés dans l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)



Le Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (LATMOS)



Le Laboratoire inter-universitaire des systèmes atmosphériques (LISA)



Le Laboratoire de météorologie dynamique (LMD)



Le Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentation et approches numériques (LOCEAN)



Le Laboratoire de physique moléculaire pour l'atmosphère et l'astrophysique (LPMAA)



Le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE)



Le laboratoire Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols (METIS)

Santé



les laboratoires de l'UFR médicale Paris Île-de-France Ouest (PIFO)

Écologie

l'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (iEES Paris)



le laboratoire d'Écologie, systématique et évolution (ESE)



Sciences humaines et sociales

le Centre Alexandre Koyré



le Centre d'études sur la mondialisation, les conflits, les territoires et les vulnérabilités (CEMOTEV)



le Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED)



le centre de Recherches en économie-écologie, éco-innovation et ingénierie du développement soutenable (REEDS)



le Laboratoire dynamiques sociales et recomposition des espaces (LADYSS)



le Pôle de recherche en économie et gestion de l'École polytechnique (PREG)



le laboratoire Cultures, Environnements, Arctique, Représentations, Climat (CEARC)



31 projets financés, plus de 20 conférences, séminaires ou colloques organisés.
Plus de 100 articles publiés.

Cinq thématiques



Climat global, politiques énergétiques et développement économique



Extrêmes climatiques et régions vulnérables



Changement climatique, écosystèmes, usage des sols et ressource en eau



Impacts du changement climatique sur la santé



Adaptation au changement climatique

Un site internet
www.gisclimat.fr

Prologue

Cet ouvrage présente l'expérience menée pendant près de dix ans par le Groupement d'intérêt scientifique Climat-Environnement-Société (en abrégé, GIS climat ou GIS) en tant que praticien et promoteur d'interdisciplinarité sur la question climatique. Il propose une synthèse des actions entreprises par le GIS avec les objectifs liés de faire dialoguer des disciplines qui ne se côtoyaient pas ou peu et d'exercer l'interdisciplinarité comme une démarche essentielle dans les recherches portant sur le changement climatique. Il se conclut par une réflexion sur les apports et limites d'une telle démarche dans le contexte de la question climatique, mais également pour la recherche dans son ensemble.

Le GIS Climat a été créé en mars 2007 avec l'objectif de développer et renforcer des recherches pluri et interdisciplinaires permettant de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'évolution du climat et les conséquences de cette évolution sur l'environnement et la société. Il visait également à renforcer la visibilité nationale et internationale des recherches dans ce domaine et à être un point focal d'expertise, capable d'offrir des connaissances pertinentes pour le partage de connaissances et la prise de décision en matière de politique d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Il a ainsi contribué aux enjeux internationaux de développement de l'interdisciplinarité sur le changement global portés initialement par le programme *Earth System Science Partnership* de l'*International Council for Science (ICSU)* et poursuivis par le programme *Future Earth*.

Le GIS Climat a été créé dans le cadre de l'initiative gouvernementale des Réseaux thématiques de recherches avancées (RTRA) de 2006. En s'appuyant sur le potentiel important de recherche en Île-de-France, il visait à construire une communauté interdisciplinaire capable de coopérer sur la question climatique. Proposé par l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), spécialiste des recherches sur le climat, il a rassemblé des laboratoires travaillant dans les domaines de l'écologie, l'hydrologie l'économie et la santé. Son contour s'est élargi avec l'intégration de laboratoires en sciences sociales et en épistémologie. Depuis 2010, le GIS Climat comptait ainsi dix-sept laboratoires franciliens (Annexe 1), dont sept sont regroupés désormais au sein de l'IPSL. Avec le soutien des ministères en charge de la recherche et de l'environnement, le GIS Climat est né d'un accord entre organismes de recherche

- le CNRS et le CEA -, les universités Pierre et Marie Curie et Versailles Saint-Quentin, l'École Polytechnique, ainsi que l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

Dans ses débuts, le GIS Climat visait essentiellement à renforcer les recherches sur le climat et à développer les études sur les impacts du changement climatique. Avec le soutien de ses tutelles, il a évolué vers davantage d'approches interdisciplinaires, pour lesquelles il était outillé à jouer un rôle clé *via* sa démarche d'animation scientifique et ses capacités incitatives. De telles approches requérant le temps long pour être construites, le GIS Climat a pu être prolongé de quatre années au-delà des cinq années initialement prévues.

SYNTHÈSE DES TRAVAUX

La synthèse des travaux intègre les résultats des trente-et-un projets sélectionnés par le GIS Climat. Ce format permet de mieux inclure les résultats de projets de nature différente : projets de recherche, projets dits « d'incubation » identifiés comme outil favorable à l'émergence de nouvelles hybridations entre disciplines, projets d'animation et de structuration de la recherche.

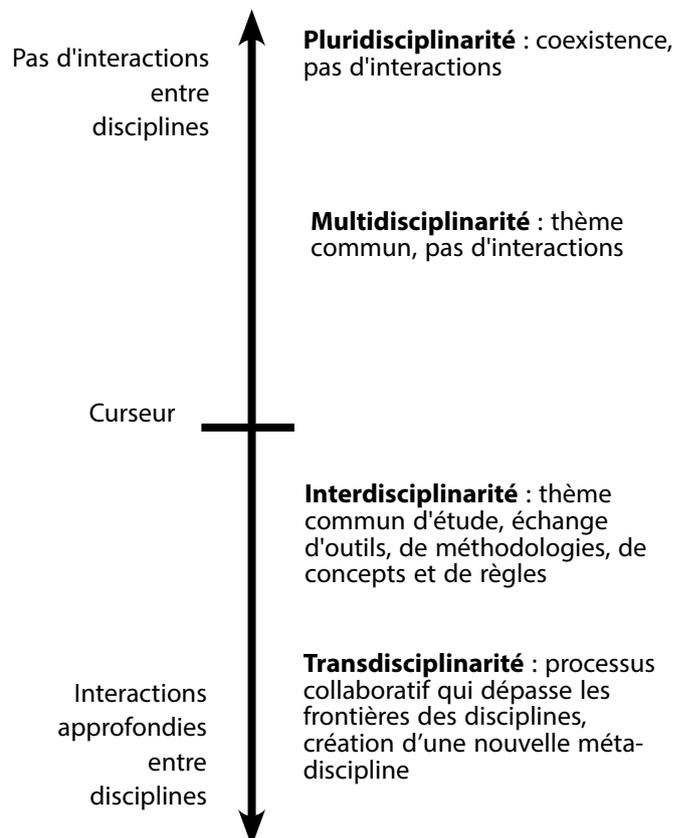


Figure 1 : Quatre niveaux d'interaction entre discipline.
Source : programme RAMONS.

Cette synthèse des travaux du GIS s'articule autour des quatre axes définis dès l'origine pour orienter les initiatives interdisciplinaires entre différents domaines de recherche (Annexe 2) : couplage climat-économie, extrêmes climatiques et vulnérabilité, impact sur les écosystèmes et l'eau, climat et santé. Le cinquième axe - l'adaptation au changement climatique -, qui s'est imposé en 2010 avec l'approfondissement et l'évolution des réflexions au sein du GIS Climat, n'a pas donné lieu à suffisamment de projets pour mener à une synthèse. Mais la problématique est transversale à plusieurs des activités du GIS Climat décrites ici et les projets associés inclus dans les synthèses des quatre axes.

Dans le dernier chapitre, une analyse réflexive est menée sur l'expérience d'appropriation de l'interdisciplinarité par le GIS Climat et son rôle de praticien et promoteur de cette interdisciplinarité, utilisée dans une acception large, qui englobe des pratiques pluri-, multi-, inter-, et trans-disciplinaires (Figure 1).

Ce travail de synthèse est complété par (i) les fiches résumant, pour chaque projet, leurs objectifs, leurs résultats majeurs et leurs publications ainsi que des annexes listant (ii) les publications du GIS Climat, les animations et les projets qu'il a menés en partenariat national et international (Annexes 3 à 5). Certaines de ses activités ont été les prémisses à de nouveaux programmes de recherche (sur les services climatiques par exemple) ou de nouveaux partenariats (comme avec l'*Urban Climate Change Research Network*).

Cet ensemble de chantiers, dont tous n'ont pas abouti mais qui - tous - ont été riches en échanges, apprentissages, découvertes et ont fait « bouger les lignes » des représentations disciplinaires, méthodologiques, intellectuelles, forme le matériel de base de la synthèse ci-jointe qui témoigne de la pluralité des expériences mises en œuvre et qui permet de les inscrire dans d'autres futurs interdisciplinaires.

ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION SUR LE BILAN DU GIS CLIMAT

Des journées de réflexions menées à divers moments et niveaux - comme le séminaire impliquant principalement des membres du Comité d'orientation et des porteurs de projet (8 juillet 2014, Campus du Jardin Tropical) - ont montré que des apports importants du travail du GIS Climat concernent plus particulièrement la conception d'approches interdisciplinaires, avec le développement d'approches intégrées, multi-acteurs et multi-échelles, ainsi que l'adoption continue d'une analyse réflexive de ses pratiques. De toute évidence, le GIS Climat a aussi fait évoluer les concepts et pratiques scientifiques de certains de ses membres dans différents domaines de recherche.

En résumé, il est possible d'affirmer que le GIS Climat a permis :

- des avancées interdisciplinaires, en particulier dans le couplage des modèles climat-carbone-économie, avec le développement d'un module d'usage des terres, de nouveaux travaux sur les interactions climat-santé avec l'émergence d'une communauté multi-acteurs non traditionnelle, des travaux pionniers sur les infrastructures vertes urbaines dans la lutte contre le changement climatique, de nouvelles collaborations sur le couplage climat-écosystème dans les modèles régionaux et une approche réflexive de l'interdisciplinarité ;

- une intégration plus forte des sciences humaines et sociales et de l'écologie dans la question climatique, qui a été relevée par les collègues de ces disciplines ;

- un élargissement international de certaines problématiques, grâce - entre autres - à la réalisation de colloques internationaux, comme celui portant sur la médiatisation de la question climatique, qui a permis à des scientifiques des deux côtés de l'Atlantique de se rencontrer pour la première fois ;

- une évolution des concepts et pratiques scientifiques au sein des projets, des animations et du comité d'orientation ;

Pour réaliser de réels progrès vers l'interdisciplinarité - souvent reléguée en deuxième priorité par rapport aux enjeux disciplinaires -, l'animation scientifique a joué un rôle déterminant, offrant des « *espaces de confort, véritable lieu de rencontres de représentations potentiellement contradictoires et de désenchevêtrement des déterminants de ces représentations* » (J.P. Vanderlinden). Mais cette animation ne saurait suffire, sans la flexibilité des outils et du format du GIS Climat, qui a permis des activités d'incubation, différents formats de projets et des appels au fil de l'eau.

LE GIS CLIMAT EN CHIFFRES

La dotation du GIS Climat s'élevait à 8 M€ dont 1.5 M€ sur des projets ciblés sur des infrastructures, environ 5 M€ sur projets et le reste en coûts de fonctionnement et d'animation. Plus de la moitié du financement des projets est allée dans les laboratoires de l'IPSL, 20 % en SHS, 17 % en écologie et 5 % sur la santé. La majeure partie du financement a été pour du personnel (71 %) avec des recrutements de post-doctorants, doctorants, masters et ingénieurs. Le suivi du devenir des personnels embauchés dans le GIS fait apparaître que onze personnes sur les cinquante-six embauchées ont trouvé un poste permanent à la sortie de leur participation au GIS Climat, montrant par là-même que

l'interdisciplinarité ne les a pas pénalisés, bien au contraire. Les projets ont mené à ce jour à 141 publications dont au moins 28 % impliquent des chercheurs de différentes disciplines (Annexe 6).

Au-delà des publications, les projets du GIS Climat ont eu un effet important de levier menant à de nombreux projets nationaux, européens ou internationaux. L'existence d'une structure visible en France sur une approche intégrée de la question climatique a également servi, à plusieurs reprises, de porte d'entrée pour des collaborations internationales.

L'APRÈS GIS CLIMAT ?

Le programme *Future Earth*, la programmation européenne conjointe sur le climat, les services climatiques mettent tous en avant la nécessité d'une démarche intégrée interdisciplinaire pour répondre aux enjeux auxquels sont confrontées les sociétés face au changement climatique. Ils insistent également sur la nécessité d'un travail de co-construction (souvent qualifié de transdisciplinaire) avec les utilisateurs d'information climatique et les porteurs d'enjeux. Une structure comme le GIS Climat continue à avoir un sens face à ces enjeux, qui devrait s'élargir au niveau national. Faute de lui avoir trouvé, à ce jour, un relais financier, il faut espérer que la démarche amorcée par le GIS Climat va se poursuivre dans d'autres cadres, qu'ils soient régionaux, nationaux, européens ou internationaux.

Sylvie Joussaume et Chantal Pacteau

Interactions climat - économie

Coordinateurs : P. Ciais
JC. Hourcade
S. Jousaume

Contributeurs : L. Bopp (DECLIC)
T. Brunelle (DECLIC, ACCACYA)
T. Gasser (DECLIC)

Interactions climat - économie

INTRODUCTION

Dans le présent chapitre sont exposés les principaux résultats des projets du GIS Climat DECLIC et ACCACYA. Ces deux projets sont un exemple de collaborations interdisciplinaires visant à comprendre le débat public qui s'est engagé autour des échéances de déploiement des efforts d'atténuation pour réduire le changement climatique. Ces échéances ne sont pas les mêmes lorsque l'on examine la question en adoptant le point de vue d'un modélisateur du climat ou d'un modélisateur de l'économie alors que, dans le débat public, les discours des climatologues et des économistes sont en permanence mis en parallèle.

Dans la première partie de ce chapitre, nous procédons au calcul des émissions de carbone compatibles avec les différents objectifs de concentration de dioxyde de carbone. Les résultats sont comparés à d'autres modèles climatiques dont les niveaux de représentation du cycle du carbone sont variables. Puis, nous appliquons un modèle économique conçu pour traiter des questions climat-énergie afin d'interpréter les différences entre les émissions obtenues par plusieurs modèles climat-carbone.

On découvre ainsi que les modèles climatiques ou modèles du système Terre (ESM pour *Earth system models*) simulent de plus faibles émissions cumulées au cours du siècle pour répondre à l'objectif de concentrations dit « élevé » ($> 6 \text{ W/m}^2$ de forçage radiatif), en comparaison avec les modèles économiques intégrés (*integrated assessment models* ou IAM). Cependant, lorsqu'il s'agit des concentrations plus faibles ($< 4.5 \text{ W/m}^2$ de forçage radiatif), la différence n'est pas aussi nette. L'analyse croisée carbone-économie permet de démontrer que de légères différences dans les trajectoires d'émission peuvent donner lieu à différents profils dans le temps et à différentes amplitudes des coûts économiques engendrés par ces trajectoires. L'analyse permet également de fournir des indications précieuses sur le rôle des technologies disponibles, en démontrant que celles-ci pourraient constituer une contrainte aussi lourde que l'objectif de stabilisation lui-même. Enfin, la présente analyse met l'accent sur l'importance des contraintes associées à l'utilisation des sols qui, dans certains scénarios pessimistes où les émissions liées à l'utilisation de combustibles fossiles peuvent contribuer à ralentir le déploiement des biocarburants et, plus généralement, de la bioénergie et entraîner finalement des coûts économiques importants.

Ce dialogue entre les modèles climat-carbone-économie montre ainsi qu'il reste encore beaucoup de progrès à

faire pour orienter les politiques climatiques. Dans cette perspective, la deuxième partie de ce chapitre porte sur la question du « chaînon manquant », à la fois dans les modèles climatiques et économiques en ce qui concerne la représentation de l'évolution de l'impact des changements d'utilisation des terres sur la biomasse à usage alimentaire. Pour combler cette lacune, le chapitre présente l'architecture d'un modèle bioéconomique global d'utilisation des terres et illustre son fonctionnement à travers une application basique. Enfin, dans une perspective d'ouverture sur les questions d'utilisation des terres qui pourraient se poser dans l'avenir, nous proposons une analyse prospective du changement de régime alimentaire basée sur le modèle global d'utilisation des terres précédemment présenté.

ÉMISSIONS DE CARBONE

Scénarios RCP

Les rapports d'évaluation du GIEC présentent des projections de l'évolution du climat qui reposent largement sur des scénarios décrivant l'évolution des émissions de gaz à effet de serre et de précurseurs d'aérosols résultant des activités humaines (Moss et al., 2010). Les scénarios socio-économiques antérieurs, dits SRES, du nom du Rapport spécial sur les scénarios d'émission (SRES, 2000) et utilisés notamment dans les troisième et quatrième rapports d'évaluations du GIEC, décrivent des trajectoires plausibles d'émissions de gaz à effet de serre basées sur différents scénarios socio-économiques prenant pour hypothèses un développement globalisé ou, au contraire, régionalisé associé à une orientation économique ou au contraire environnementale. Ces scénarios ont été largement utilisés par la communauté scientifique pour étudier le changement climatique. Cependant, lesdits scénarios

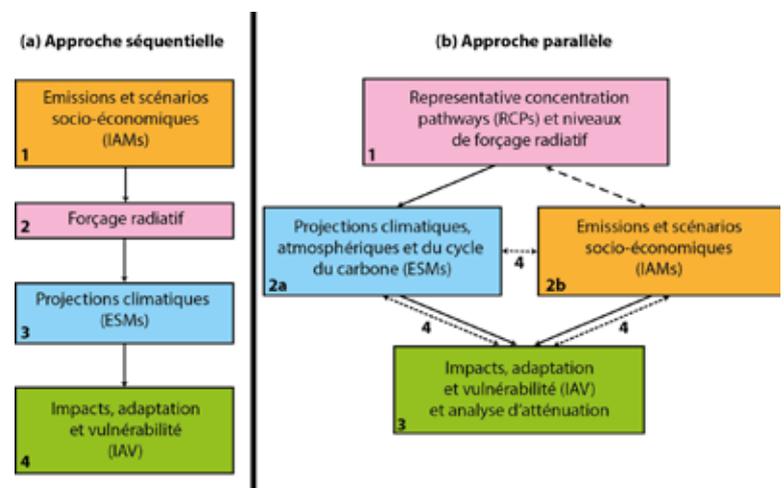


Figure 1 : Approche séquentielle par opposition à l'approche parallèle dans le processus de production de scénario du GIEC. (extrait de Moss et al., 2008).

ont fait l'objet de critiques comme étant fortement pré-déterminés (par des hypothèses concernant la croissance de la population, le développement économique et les progrès technologiques), mais aussi comme étant trop compliqués et trop longs à développer, principalement en raison de leur approche linéaire de la chaîne de causalité, allant des scénarios socio-économiques, au changement climatique et aux impacts (figure 1).

Pour résoudre ce problème et améliorer la coopération interdisciplinaire entre les trois groupes de travail du GIEC, le 5^{ème} rapport d'évaluation (AR5) du GIEC a utilisé un nouveau processus parallèle et structuré autour de scénarios basés sur des variables pivots, présentées sous la forme de niveaux ultimes de forçage radiatif en 2100 (RF, voir figure 1). Ces nouveaux scénarios portent le nom de *Representative Concentration Pathways* (RCP). Quatre d'entre eux ont été sélectionnés : le RCP le plus faible, RCP2.6 (également appelé RCP3-PD), qui va jusqu'à 3 W/m² suivi d'un déclin à environ 2.6 W/m² en 2100 ; le RCP4.5 faible à moyen et le RCP6 moyen à élevé pour une stabilisation visant 4.5 et 6 W/m², respectivement autour de 2100 ; et le plus élevé de tous, le RCP8.5 qui implique un RF de 8.5 W/m² en 2100. Les ensembles de données de base (population, produit intérieur brut, consommation d'énergie, etc.) qui ont servi à l'élaboration des RCP ont été générés par quatre IAM : le RCP2.6 a été développé par l'équipe de modélisation IMAGE, le RCP4.5 par l'équipe de modélisation GCAM, le RCP6.0 par l'équipe de modélisation AIM et le RCP8.5 en utilisant le modèle MESSAGE.

Les RCP sont représentatifs en ce sens qu'ils représentent les niveaux de forçage radiatif d'un ensemble plus large de scénarios figurant dans les publications spécialisées (van Vuuren et al, 2011a). Ils couvrent la gamme de forçage radiatif figurant dans les articles scientifiques datant de septembre 2007, le RCP8.5 correspondant à l'évolution au-delà du 90^{ème} centile de la gamme d'émissions de CO₂ par l'énergie et l'industrie et le RCP2.6 à l'évolution en-deçà du 10^{ème} centile (Moss et al., 2010). Les RCP n'ont pas de valeur prédictive et ne permettent aucune spéculation quant aux probabilités. Le terme « profil » (*pathway*) rappelle que la trajectoire empruntée au fil du temps pour atteindre la cible RF en 2100 est également intéressante (Moss et al., 2010) compte tenu des trois différentes possibilités de trajectoire vers 2100 : hausse (RCP8.5), stabilisation sans dépassement (RCP4,5 et 6) et pic et déclin (RCP2.6).

Les RCP ne sont pas associés à des scénarios socio-économiques spécifiques, mais peuvent être compatibles avec de nombreux scénarios possibles

de l'avenir économique (GIEC, 2013). Le RCP8.5 peut être considéré comme une base de référence élevée, le RCP6 comme une base de référence moyenne ou scénario d'émissions relativement élevées, le RCP4.5 comme un scénario d'atténuation intermédiaire et le RCP2.6 comme un scénario de forte atténuation (van Vuuren et al., 2011a).

La communauté scientifique développe actuellement un nouvel ensemble de scénarios, appelé Trajectoires socio-économiques communes ou SSP pour *Shared Socio-economic Pathways* (O'Neill et al. 2014) en vue de compléter les RCP et de mettre à jour ou de remplacer les scénarios SRES. Ces SSP peuvent être considérées, d'un point de vue socio-économique, comme étant des sœurs jumelles des RCP, qui viennent compléter ainsi le processus parallèle de production de scénarios. Ces SSPs ont pour ambition de fournir des voies permettant d'associer les dimensions d'adaptation et d'atténuation. Pour ce faire, les modèles d'évaluation intégrée (IAM) développent des scénarios contrastés selon deux axes : les défis socio-économiques de l'adaptation et les défis socio-économiques de l'atténuation (voir figure 2).

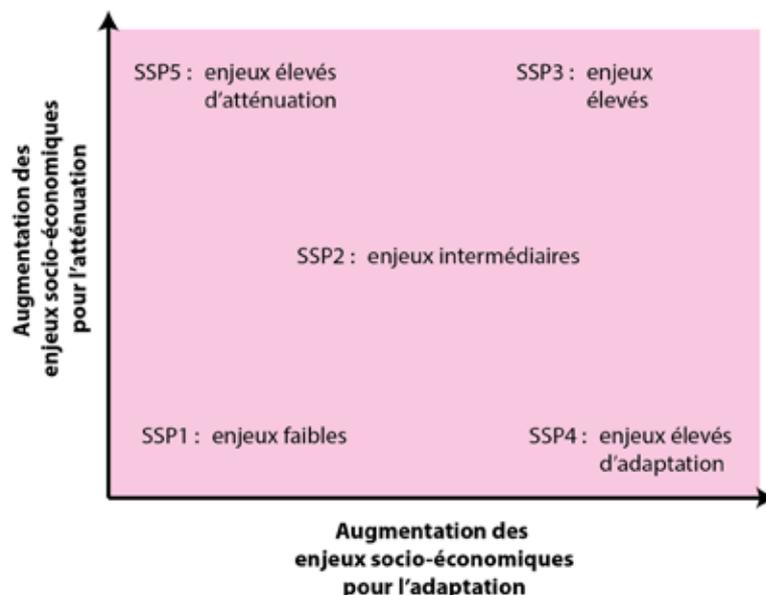


Figure 2 : Logique sous-jacente aux Trajectoires socio-économiques communes ou *Shared Socio-economic Pathways* (SSP).

Émissions de carbone compatibles

Les modèles climatiques couplés climat cycle du carbone élaborés dans le cadre de la phase 5 du projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP5, Taylor et al. 2012) ont été utilisés pour effectuer des simulations climatiques de la période historique (portant sur la période de 1850 à 2005) et de l'avenir (de 2006 à 2100, étendues à 2300). Les simulations concernant l'avenir suivent l'un des quatre scénarios RCP (Moss et al. 2010), discutés plus haut, ayant permis de décrire les concentrations de gaz à effet de serre, le forçage radiatif des aérosols et les changements d'utilisation des terres. Les

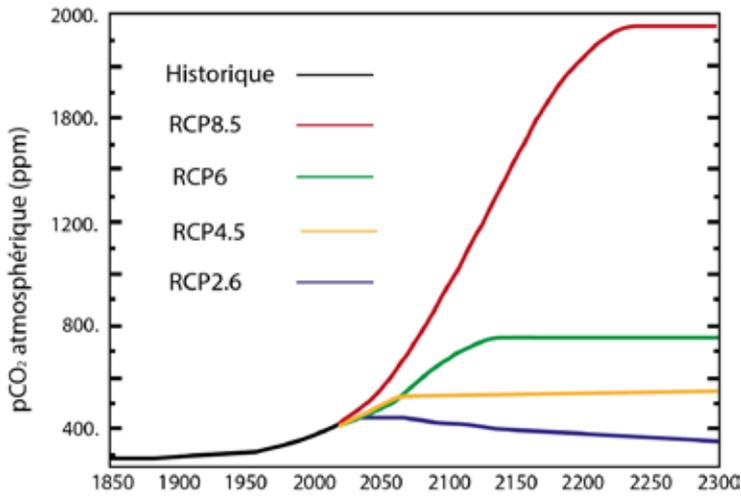


Figure 3 : Les concentrations atmosphériques de CO₂ (en ppm) pour les quatre RCP (Moss et al. 2010).

quatre RCP correspondent aux concentrations de CO₂ atteignant en 2100 respectivement 421, 538, 670 et 936 ppm (figure 3). Ces simulations sont appelées simulations forcées par la concentration.

L'inclusion de la représentation de la politique climatique dans un scénario socio-économique consistant avec un RCP donné doit permettre au scénario d'atteindre le forçage radiatif cible en 2100. Mais un modèle simple du climat incluant une représentation du cycle du carbone a ensuite été utilisé pour calculer la concentration de CO₂ dans l'atmosphère à partir de chaque scénario d'émissions et ensuite pour forcer les modèles climatiques. Cette représentation simple des interactions carbone-climat peut cependant être sensiblement différente de celle utilisée dans les modèles plus complexes du système Terre (ESM), et entraîner des divergences entre les différentes approches. Une façon désormais classique de comparer ces différentes approches (IAMs par opposition à ESM) est basée sur l'estimation des émissions compatibles, c'est-à-dire les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles qu'il faudrait utiliser dans un ESM complexe pour reproduire la trajectoire de concentration de CO₂ imposée.

Dans le cadre du projet DECLIC, les simulations du modèle climatique couplé climat carbone du système Terre IPSL-CM5A-LR ont été utilisées pour déterminer les émissions de CO₂ fossile compatibles pour les quatre scénarios RCP décrits plus haut (les émissions liées au changement d'usage des sols étant prises en compte dans le modèle climat carbone). IPSL-CM5A-LR permet de coupler les composantes atmosphère-océan-continent du système climatique et d'inclure une représentation du cycle du carbone dans les trois réservoirs atmosphériques, océaniques et terrestre. La concentration prescrite de CO₂ pour chaque RCP est extraite de l'ensemble recommandé de données CMIP5 et décrite dans Meinshausen et al. (2011). Pour la période historique (de

1860 à 2005), et pour chacun des scénarios RCP, les modèles du cycle de carbone continental (ORCHIDEE) et océanique (PISCES) inclus dans IPSL-CM5A-LR permettent de générer des flux de carbone dirigés de l'atmosphère vers la biosphère continentale et vers l'océan, spatialement explicites et variables dans le temps en réponse à la concentration prescrite de CO₂ dans l'atmosphère, aux changements de la couverture des terres et aux simulations du climat. Les émissions compatibles sont alors établies sur la base des flux continentaux et océaniques simulés entre la surface et l'atmosphère et des concentrations prescrites de CO₂ en utilisant les formules suivantes pour les taux d'émission et les émissions cumulées :

$$\begin{aligned} \text{Émission Compatible} &= dCO_2/dt - F_{\text{océan}} - F_{\text{terre}} \\ \text{Émissions compatibles cumulées} &= \\ &CO_2(t) - CO_2(t_0) - \text{Somme}(F_{\text{océan}} + F_{\text{terre}}) \end{aligned}$$

Étant donné que le modèle ORCHIDEE permet de simuler explicitement la composante naturelle et la composante provenant de l'utilisation des terres du flux de carbone terre-atmosphère, les émissions compatibles font ici uniquement référence aux émissions provenant de l'utilisation de carburants fossiles et de la production de ciment.

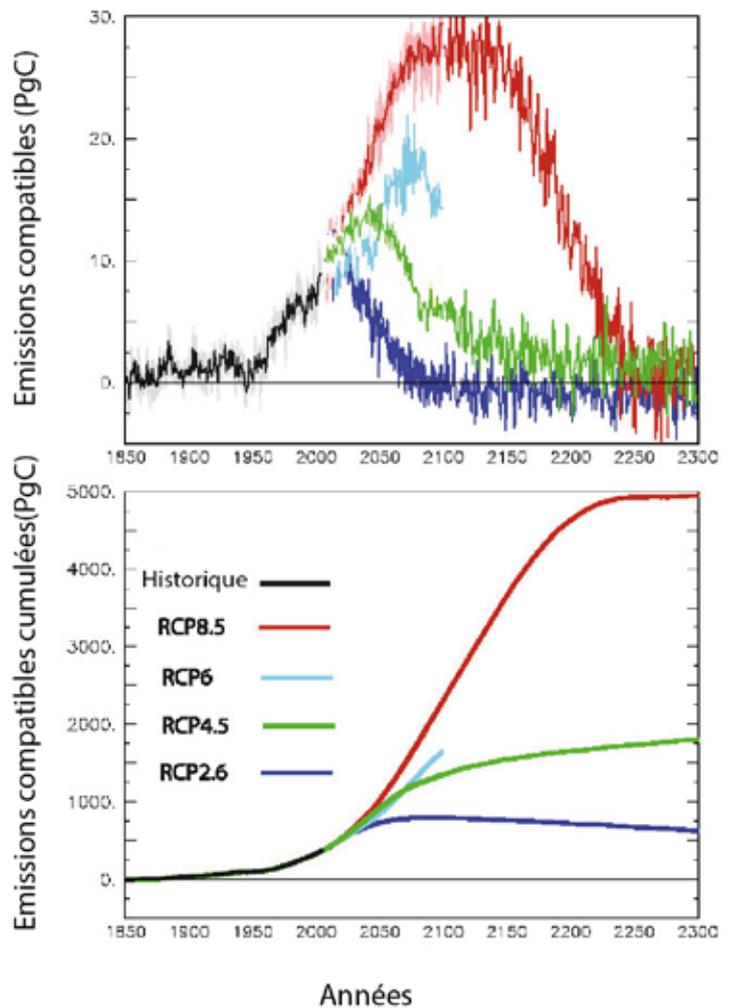


Figure 4 : Émissions compatibles (en haut : chaque année, en bas : cumulées) calculées à l'aide du modèle IPSL-CM5A et pour chaque scénario RCP (Dufresne et al. 2013).

En utilisant les simulations historiques et les RCP, nous avons calculé les émissions compatibles en supprimant du taux de croissance atmosphérique prescrit les flux nets annuels sur les océans et les continents simulés par le modèle IPSL-CM5A-LR. Concernant la décennie 1990-1999, les émissions compatibles calculées à l'aide d'IPSL-CM5A-LR s'élevaient à $6,6 (\pm 0,2)$ PgC/an (Pg pour pétagrammes, soit 1015 grammes équivalent à un milliard de tonnes), ce qui correspond aux estimations basées sur les observations de $6,4 (\pm 0,4)$ PgC/an (GIEC, 2007). Les flux nets terrestres et océaniques simulés atteignent $2,2 (\pm 0,05)$ et $1,28 (\pm 0,1)$ PgC/an respectivement, et correspondent aux estimations figurant dans Le Quéré et al. (2009) pour la décennie entre 1990 et 1999 : $2,2 (\pm 0,4)$ PgC/an pour l'océan et $1,1 (\pm 0,9)$ PgC/an pour les continents.

En 2100, les émissions compatibles cumulées (figure 4) diffèrent largement entre les scénarios et atteignent respectivement $2\,288 (\pm 3)$, $1\,644$, $1\,349 (\pm 10)$, $793 (\pm 1)$ PgC pour les scénarios RCP8.5, RCP6, RCP4.5 et RCP2.6. Les incertitudes de chacune de ces quantités ont été obtenues en calculant l'écart-type sur la base de plusieurs simulations de chaque scénario par différents modèles CMIP5 (une seule simulation est disponible pour RCP6.0). En 2300, les émissions cumulées compatibles sont de $4\,946$, $1\,797$ et 627 PgC pour les RCP8.5, RCP4.5 et RCP2.6 respectivement. Fait intéressant, les émissions compatibles selon le RCP2.6 atteignent des valeurs négatives à partir de 2100.

Ces résultats du modèle IPSL ont été inclus dans une étude de comparaison de modèles (Jones et al. 2013) et comparés à treize autres modèles du système Terre (ESM) afin d'examiner les changements futurs du stockage de carbone dans les océans et dans les sols et leurs implications pour les émissions anthropiques. Ces résultats sont également inclus dans le dernier rapport du GIEC (Ciais et al. 2013).

Les résultats des modèles ESM sont compatibles avec les émissions sous-jacentes résultant des modèles intégrés IAM qui ont permis de générer chaque RCP (figure 5), mais affichent un écart important entre les modèles. L'incertitude quant à l'absorption de carbone dans les sols entre les modèles est comparable aux différences entre les scénarios RCP. Elle est en partie imputable aux différentes représentations des changements d'utilisation des terres d'origine anthropique. Les modèles CMIP5 permettent d'estimer les émissions cumulées de combustibles fossiles (entre 2006 et 2100) à $331 (\pm 117)$, $861 (\pm 160)$, $1\,147 (\pm 124)$, $1\,783 (\pm 187)$ PgC pour les scénarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5 respectivement. Au cours de la même période, les émissions cumulées de combustibles fossiles simulées par IPSL-CM5A-LR s'élevaient à 419 , 964 , $1\,266$ et $1\,907$ PgC pour les scénarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5.

Pour les scénarios RCP élevés (6.0 et 8.5), les modèles ESM simulent des quantités moins importantes d'émissions compatibles par rapport à l'IAM utilisé pour construire le RCP, ce qui est le signe d'une rétroaction positive des interactions entre le climat et le cycle du

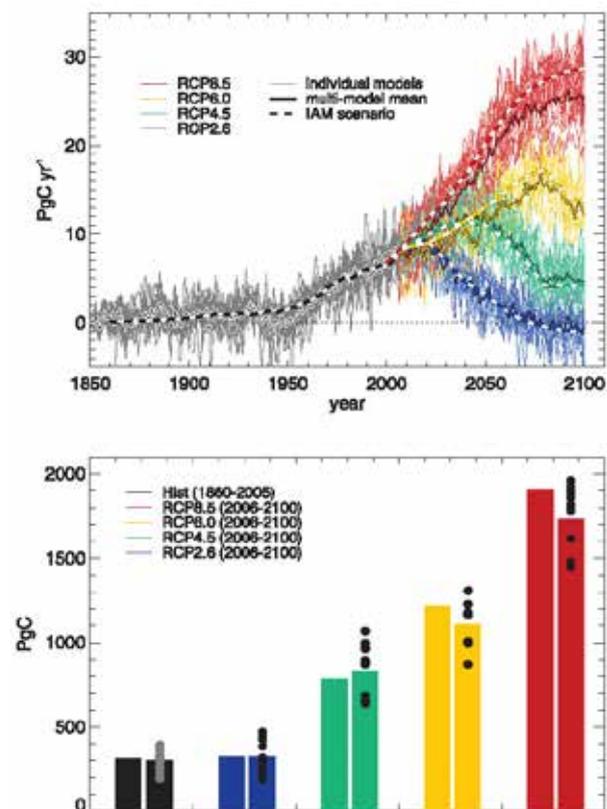


Figure 5 : Émissions compatibles (en haut : chaque année, en bas : cumulées) calculées à l'aide du modèle IAM qui a permis d'estimer le scénario RCP. Les résultats sont comparés aux estimations réalisées à l'aide du IAM (en pointillés dans la partie supérieure, barres de gauche dans la partie inférieure du schéma) (Jones et al. 2013 / extrait de Moss et al., 2008).

carbone dans ces scénarios. En d'autres termes, suite à la prise en compte des changements de climat sur le cycle du carbone, les ESM simulent un affaiblissement de l'absorption du carbone par les sols et les océans par rapport au modèle IAM.

Concernant le scénario d'atténuation RCP2.6, d'après les résultats, une réduction moyenne de 50 % des émissions d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 1990 est nécessaire mais un écart important existe entre les modèles (de 14 à 96 %). La principale question abordée dans cette étude est de savoir si oui ou non des émissions négatives nettes globales sont nécessaires pour atteindre l'évolution cible de CO_2 visée par le scénario RCP2.6. En raison de la variabilité interannuelle (concernant avant tout l'absorption par la biosphère continentale), de nombreux modèles simulent des émissions compatibles négatives occasionnelles certaines années d'ici à 2100 mais un critère plus pertinent constitue l'exigence d'une moyenne long-terme d'émissions négatives. Les huit modèles de CMIP5 analysés dans le présent chapitre (seulement huit modèles ont effectué la simulation RCP2.6), s'opposent à cette thèse. Afin de se conformer aux prescriptions en matière de réduction des émissions de CO_2 dans l'atmosphère de 443 à 421 ppm, quatre modèles sur huit (CanESM2, GFDL-ESM2G, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM) simulent la nécessité d'une moyenne d'émissions négatives entre 2080 et 2100, tandis que les quatre modèles restants (HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR et MPI-ESM-LR) sont parvenus à un scénario ne préconisant pas d'émissions négatives soutenues. Le

modèle CanESM2 projette une exigence d'émissions négatives soutenues dès 2060. Les quatre modèles qui projettent des émissions négatives indiquent un niveau d'émissions légèrement en dessous de celui observé en 1990, tandis que les quatre modèles qui projettent une augmentation soutenue des émissions indiquent un niveau d'émissions légèrement au-dessus de l'estimation correspondant à l'année 1990. Il n'existe aucune contrainte observationnelle claire à laquelle confronter les sous-ensembles de modèles.

Scénarios socio-économiques compatibles avec les RCP

Dans le cadre du projet DECLIC, chacun des quatre RCP a été testé par rapport à un grand nombre de variantes technologiques en utilisant le modèle technico-économique IMACLIM-R. Ce modèle a été conçu pour évaluer les politiques climatiques et énergétiques. IMACLIM-R est un modèle technico-économique d'équilibre général qui permet de calculer l'évolution du produit intérieur brut (PIB) correspondant à un objectif d'atténuation précis.

Les profils d'émissions des RCP6.0 et 8.5 semblent être proches ou supérieurs aux profils d'émissions des scénarios de référence de IMACLIM-R. Par conséquent, il n'est guère utile d'interpréter le coût économique de ces deux scénarios. En revanche, il est intéressant de se concentrer sur les RCP2.6 et 4.5 en vue, notamment, d'explorer les conséquences économiques de l'intégration d'une modélisation plus fine du cycle du carbone et d'une supposée meilleure représentation des rétroactions climat-carbone lorsqu'il est tenu compte des émissions compatibles estimées à l'aide du modèle climatique IPSL.

Pour analyser, avec précision, la perte de PIB calculée à l'aide d'IMACLIM-R sur la base d'émissions compatibles émanant des RCP2.6 et 4.5, nous comparons les profils obtenus avec les profils d'émissions calculés par IMAGE (RCP2.6) et GCAM (RCP4.5). Ces deux IAM ont été sélectionnés par la communauté des modélisateurs pour concevoir des RCP de référence. Leurs résultats ont été publiés respectivement dans van Vuuren et al. (2011b) et dans Thomson et al. (2011). Dans ces estimations, la représentation du cycle du carbone, telle que discutée ci-dessus, reste assez sommaire par rapport au modèle IPSL-CM5. Par conséquent, contrairement au modèle IPSL-CM5, certaines rétroactions, positives ou négatives, ne sont pas prises en compte. Ainsi, les profils d'émissions calculés par IPSL-CM5 dans le cas des RCP2.6 et 4.5 ont donné lieu à un niveau légèrement plus élevé d'émissions

compatibles par rapport aux niveaux calculés à l'aide d'IMAGE et de GCAM. Dans le cas de RCP4.5, l'écart est assez faible (0,5 Pg), mais dans le cas de la RCP2.6, l'écart est plus important (environ 1,4 Pg) (voir figure 6).

La figure 7 montre que la légère différence d'émissions compatibles pour RCP4.5 entre GCAM et IPSL-CM5 donne lieu à une différence relativement importante de PIB mondial calculé par IMACLIM-R, de l'ordre d'environ cinq points en 2100. Ceci s'explique par le fait que, dans les scénarios de stabilisation, le système socio-économique se rapproche progressivement des limites de ses possibilités en termes de réduction d'émissions : les technologies ou les comportements donnant lieu à des faibles émissions de carbone sont déjà en cours d'utilisation, et seuls ceux qui sont les plus complexes ne sont pas exploités. Par conséquent, toute réduction supplémentaire des émissions devient de plus en plus coûteuse, car elle nécessite les technologies les plus chères ou des efforts de sobriété plus exigeants.

Dans le cas du RCP2.6, nous examinons les résultats obtenus par IMAGE qui a été sélectionné par les communautés IAM pour calculer les profils pour le RCP2.6. La figure 8 montre que les pertes de PIB sont d'un niveau comparable au cas précédent (environ cinq points de PIB). Par conséquent, le gain économique dans le cas d'une cible d'émission réduite (RCP4.5) n'est pas considérablement plus élevé dans le scénario plus rigoureux (RCP2.6). Cependant, le graphique de droite de la figure 8 révèle que l'écart dans la perte de PIB devient

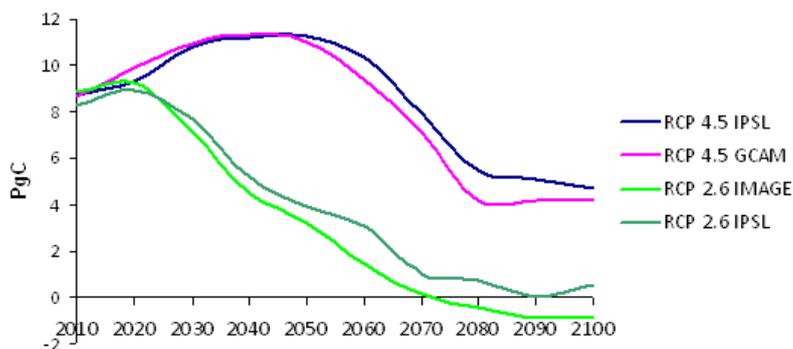


Figure 6 : Profils d'émissions calculés en utilisant le modèle IPSL-CM5 (RCP4.5 et RCP2.6), le modèle CGAM (RCP4.5) et le modèle IMAGE (RCP2.6).

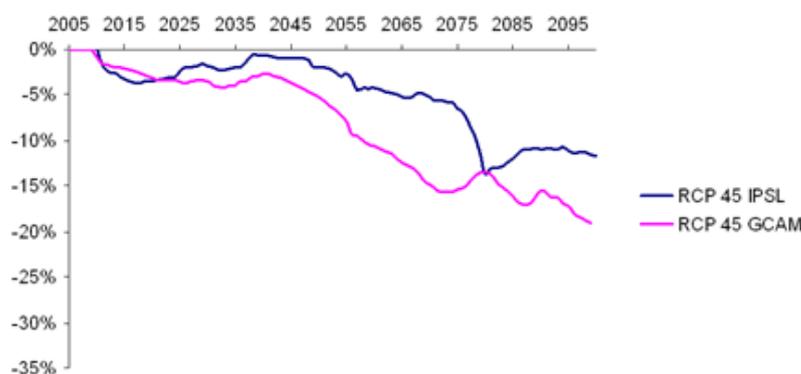


Figure 7 : Comparaison de la perte de PIB mondial calculée par le modèle IMACLIM-R à partir des émissions obtenues par le modèle IPSL-CM5 et le modèle GCAM pour le scénario RCP4.5..

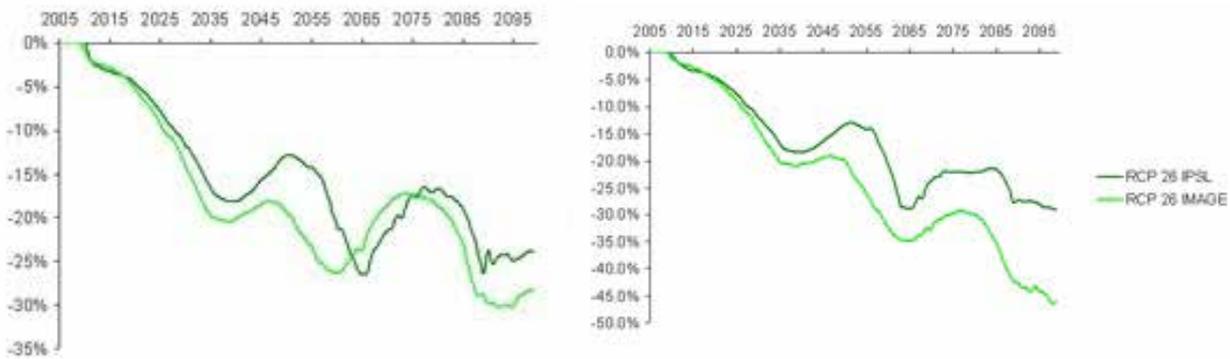


Figure 8 : Comparaison de la perte de PIB mondial calculée par le modèle IMACLIM-R à partir des émissions obtenues par le modèle IPSL-CM5 et le modèle GCAM pour le scénario RCP2.6, pour deux cas : cas standard (à gauche) et cas de faible disponibilité de la biomasse (à droite).

beaucoup plus élevé lorsque l'on tient compte de la faible disponibilité de la biomasse et montre que l'assouplissement de l'objectif d'émissions permet de générer des gains économiques encore plus importants lorsque les options technologiques sont limitées. En d'autres termes, la disponibilité technologique semble être une contrainte plus forte que l'objectif de stabilisation en tant que tel.

Par conséquent, l'exactitude des profils d'émissions, rendue possible par une meilleure représentation du cycle du carbone, modifie de manière significative les conclusions des modèles économiques : le coût des politiques climatiques ambitieuses semble être considérablement plus faible, notamment lorsque les options technologiques sont limitées. Cette analyse montre également l'importance cruciale de la disponibilité technologique en tant que facteur déterminant du coût économique des politiques de stabilisation.

Stabilisation à 2° C

L'une des questions transversales les plus importantes du rapport AR5 du GIEC est le concept d'émissions négatives. Selon les résultats obtenus par le groupe de travail 1 du GIEC dans le cadre du rapport AR5 (2013), afin de limiter le réchauffement planétaire à moins de 2° C, nous devons réduire le volume net des émissions de CO₂ dans l'atmosphère, soit en réduisant les émissions de CO₂ (méthode conventionnelle d'atténuation), soit en supprimant le CO₂ de l'atmosphère d'ici la fin du siècle (émissions nettes négatives), comme illustré par les courbes bleues dans la partie supérieure de la figure 4. Dans une étude rendue possible grâce aux résultats du projet ACCACYA en utilisant des modèles climat-carbone, Gasser et al. (2015) a quantifié le compromis entre ces deux options dans le seul scénario GIEC susceptible de limiter le réchauffement climatique à moins de 2° C, le RCP2.6.

Dans le rapport du groupe de travail 1, comme décrit plus haut, les émissions nettes négatives résultent de la conservation de la masse et de la simulation du stockage du carbone dans les réservoirs continentaux et océaniques par les modèles du système Terre (ESM). Il est nécessaire de mieux comprendre les incertitudes des processus complexes des cycles continentaux et

marins du carbone car chaque gramme de carbone libéré dans l'atmosphère ou non séquestré en raison de limitations se traduira par un gramme de réduction des émissions (ou par l'élimination du CO₂ de l'atmosphère si les émissions compatibles ont déjà atteint zéro), ce qui implique un effort d'atténuation plus important si l'on veut respecter le profil de forçage radiatif d'un RCP spécifique.

Les résultats des ESMs concernant la projection de l'évolution du stockage du carbone dans la végétation continentale et les sols sont plus disparates que ceux concernant le stockage du carbone dans les océans. Ils indiquent des différences entre modèles sur le temps de renouvellement du carbone dans la végétation et les sols et sur les sensibilités des flux entrants (productivité terrestre) et sortants (respiration et émissions par les feux) aux conditions futures d'augmentation des émissions de CO₂ et au changement climatique. Dans un ESM où le cycle du carbone constitue un système couplé avec le climat physique, toute erreur systématique du climat simulé se traduira inévitablement par une incertitude des projections des puits de carbone terrestres et océaniques, même si le module du cycle du carbone de l'ESM est absolument précis.

Le rapport d'évaluation AR5 du GIEC fait état, dans ses conclusions, de deux processus du cycle du carbone continental qui constituent une source importante d'incertitude car ils n'ont pas été systématiquement inclus dans les ESM et parce qu'aucune comparaison ou évaluation systématique de ces modèles de carbone n'a été effectuée en ce qui concerne leur amplitude. Il s'agit de la limitation de stockage du carbone par la disponibilité en nutriments, en particulier l'azote et le phosphore, et de la vulnérabilité des puits de carbone aujourd'hui gelés des hautes latitudes au réchauffement futur et à la fonte du pergélisol. Seuls deux ESM sur huit utilisés dans le rapport d'évaluation AR5 du GIEC tenaient compte des interactions carbone-azote, et ces deux ESM partageaient le même module. L'effet de la limitation d'azote a tendance à diminuer le stock de carbone dans les sols de 100 Pg C en 2100 par rapport aux modèles ESM axés uniquement sur le carbone, sans tenir compte de cette limitation. L'inclusion des limitations de phosphore, principalement dans les écosystèmes forestiers tropicaux, limite davantage

le stockage, d'environ 20 à 100 PgC. D'importantes incertitudes entourent ces estimations en l'absence d'évaluation systématique des modèles pour le cycle de l'azote et du phosphore et des changements associés des écosystèmes. Par ailleurs, l'effet de la fonte du pergélisol sur la décomposition des anciens bassins de carbone n'a été inclus de manière explicite dans aucun modèle. Le GIEC a estimé, à partir des résultats d'un modèle indépendant non couplé ou à partir de modèles de complexité intermédiaire, de 50 à 250 milliards de tonnes de carbone (GtC ou PgC) en 2100 l'ajout potentiel de carbone suite à la fonte du pergélisol.

Dans le cas d'un scénario d'atténuation conventionnelle très optimiste, où la consommation de combustibles fossiles commence à baisser en 2015 à un taux de 5 % par an, nous sommes parvenus à la conclusion selon laquelle les émissions négatives devraient se situer entre -0,5 et -3 PgC/an (l'indicateur négatif étant associé au carbone éliminé de l'atmosphère) et la capacité de stockage devrait être comprise entre 50 et 250 PgC, l'incertitude étant le résultat de différentes représentations de la réponse future du système climat-carbone. Selon le pire scénario de l'étude qui, encore une fois, ne tient pas compte d'éventuelles mauvaises surprises en raison des limitations d'azote et de la libération de carbone due à la fonte de pergélisol, si la consommation de combustibles fossiles commence à baisser en 2030 à un taux de 1 % par an, les émissions devraient se situer entre -7 et -11 PgC/an et la capacité de stockage entre 1 000 et 1 600 PgC respectivement. Ces chiffres étant très difficiles à atteindre d'un point de vue de la faisabilité technologique, nous avons conclu que i) le développement des technologies d'émissions négatives devrait s'accélérer si nous décidons d'y faire appel et ii) l'atténuation conventionnelle doit rester une partie substantielle de toute politique climatique visant l'objectif des 2° C (Gasser et al. 2015).

Attribution des émissions de carbone d'origine anthropique

L'attribution du changement climatique d'origine anthropique aux pays y ayant contribué historiquement reste une question cruciale pour les négociations internationales, mais aussi pour établir des politiques climatiques au niveau mondial et national. Apporter une réponse définitive et absolue à cette question est impossible, notamment parce que les jugements de valeur sont en réalité nécessaires pour y répondre. Mais une fois ces jugements de valeur reconnus, on peut procéder à des calculs scientifiques, objectifs, permettant d'apporter des éléments de réponse. Dans cette partie du présent chapitre, nous étudions deux aspects spécifiques de la vaste question des contributions historiques des nations au changement climatique d'origine anthropique : l'incertitude politique dans l'attribution qui est liée au choix des méthodes de comptabilisation et l'effet de l'inclusion des perturbations anthropiques du système climatique non liées aux émissions de CO₂.

L'analyse de « l'incertitude politique » dans l'attribution des contributions historiques au changement climatique d'origine anthropique est difficile, étant donné le manque de données concernant les émissions résultant du commerce international. Ce travail est donc axé sur la période de 1990 à 2008, période pour laquelle existent les données d'émissions de CO₂ provenant de la combustion des combustibles fossiles résultant du commerce international. Ces données correspondent à l'émission de CO₂ dans un pays donné induite par une demande économique émanant d'un autre pays. Si les inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre (GES) sont corrigés par ces données, les émissions peuvent être attribuées aux consommateurs et non aux producteurs. Ceci définit notre premier choix politique d'attribution. Le deuxième choix politique que nous étudions n'est pas lié aux émissions, mais plutôt à l'élimination naturelle du CO₂ atmosphérique (que l'on appelle « puits de carbone »). Les processus naturels permettant d'éliminer le CO₂ de l'atmosphère, à savoir sa dissolution dans l'océan et la photosynthèse sur les continents peuvent être pris en compte dans le cadre de l'attribution, selon deux approches différentes. D'une part, l'élimination peut être attribuée à sa cause physique : l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère induite par l'émission de CO₂ d'origine anthropique. Dans ce cas, les puits de carbone sont attribués aux émetteurs parce qu'ils induisent l'augmentation de l'élimination du carbone. D'autre part, l'élimination peut être attribuée au pays dans lequel elle se produit. Cela est particulièrement vrai pour les puits de carbone sur les continents : par exemple, les forêts tropicales sont d'importants puits de carbone (la déforestation anthropique étant prise en compte séparément) et ce puits serait, en vertu de cette approche, attribué aux pays qui « possèdent » les forêts, c'est-à-dire aux pays qui absorbent et non qui émettent. Et enfin, un troisième choix politique étudié est celui de la comptabilisation des émissions de CO₂, soit à partir de l'époque préindustrielle (1750), soit à partir de 1990, année de référence du protocole de Kyoto et première année de la période étudiée.

Avec trois choix et deux options, nous avons un total de huit ($2^3 = 8$) possibilités d'attribution de la contribution historique au changement climatique. Aucun de ces choix ne peut être fait sur la base d'éléments scientifiques et objectifs, c'est pourquoi nous les qualifions de « politiques ». L'outil de modélisation OSCAR et le cadre de l'attribution permettent de se faire une idée de l'importance de l'incertitude politique vis à vis de l'incertitude scientifique. Sur la figure 9, on peut observer que, concernant certaines régions, l'incertitude politique, c'est-à-dire le changement de la contribution (ici, au changement de CO₂ atmosphérique entre 1990 et 2008) induit par un changement de choix politique peut être énorme. Il se situe à douze points de pourcentage pour l'Europe. Les régions les plus

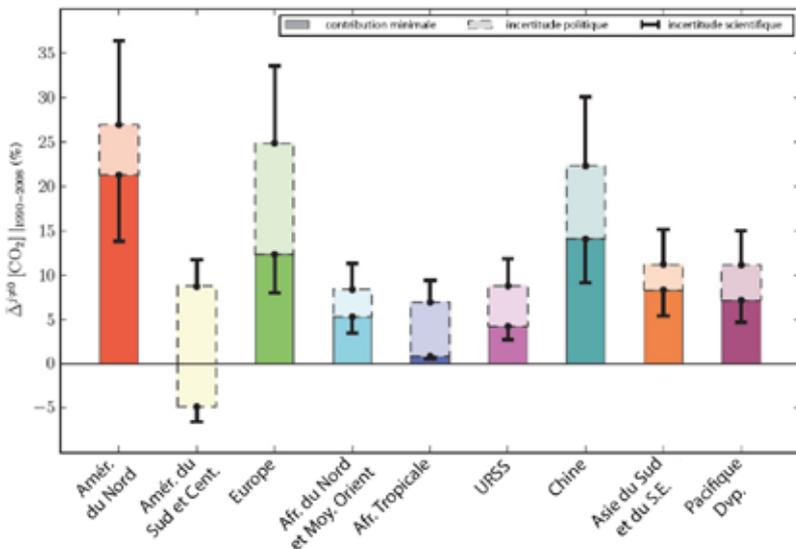


Figure 9 : Évolution de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère entre 1990 et 2008 attribuée aux différentes régions. Les incertitudes politiques sont représentées sous forme de barres en pointillés, et les incertitudes scientifiques sont représentées sous la forme traditionnelle de barres d'incertitudes (noires).

touchées par les incertitudes politiques sont celles qui i) importent/exportent plus d'émissions de CO₂ que d'autres ; ii) émettent plus/moins de CO₂ que leurs puits de carbone nationaux peuvent éliminer ; iii) ont émis la plupart de leurs émissions historiques avant/après 1990. Des exemples du premier cas sont l'Amérique du Nord et l'Europe qui ont externalisé beaucoup d'émissions à la Chine. L'Amérique centrale et du Sud sont des exemples du deuxième cas. En effet, leurs émissions sont inférieures à la capacité d'élimination de leurs forêts, ce rapport étant inversé concernant l'Europe. Et le troisième cas est illustré essentiellement par les pays dits développés par rapport aux pays dits en voie de développement.

Le deuxième aspect de l'exercice d'attribution étudié ici est la question de la comptabilisation des gaz autres que le CO₂, non seulement les gaz à effet de serre autres que le CO₂, mais aussi les gaz à courte durée de vie, responsables de la formation des aérosols qui, la plupart du temps, refroidissent le système climatique. Pour ce faire, nous utilisons

également l'outil OSCAR, étendu pour tenir compte des précurseurs de l'ozone anthropique (oxydes d'azote NO_x, monoxyde de carbone CO et composés organiques volatiles VOC), des précurseurs d'aérosols anthropiques (dioxyde de soufre SO₂ et ammoniac NH₃) et des aérosols anthropiques (carbone organique OC et carbone suie BC). Concernant un choix politique spécifique d'attribution (aux producteurs et aux émetteurs, à compter de l'ère préindustrielle), et en tenant compte d'autant d'interactions et rétroactions du système Terre que possible avec OSCAR, on peut imputer le changement climatique anthropique moyen au niveau mondial en 2008 aux émissions anthropiques et au changement d'utilisation des terres (LUC) (figure 10). L'innovation fondamentale de cette attribution consiste, contrairement à l'approche

du GIEC, à imputer le changement climatique aux émissions anthropiques et non aux concentrations atmosphériques. Cela permet de tenir compte de la rétroaction climat-carbone, à savoir la réduction de l'efficacité des puits provoquée par le changement climatique d'origine anthropique. Cette rétroaction renforce l'importance relative des espèces autres que le CO₂ puisque celles-ci exercent un impact sur le cycle du carbone à travers cette boucle de rétroaction. Ceci est illustré sur la figure 10 où l'on peut voir le rôle majeur joué par le méthane (CH₄), le deuxième plus important gaz à effet de serre, mais aussi par le dioxyde de soufre (SO₂), un précurseur des aérosols de sulfate qui refroidissent le climat.

Enfin, en étant capables d'attribuer le changement climatique au forçage anthropique et d'attribuer le forçage anthropique aux régions, nous pouvons réorganiser les résultats précédents de manière à imputer le changement climatique aux régions. Encore une fois, dans un ensemble donné de choix politiques (tels que mentionnés ci-dessus :

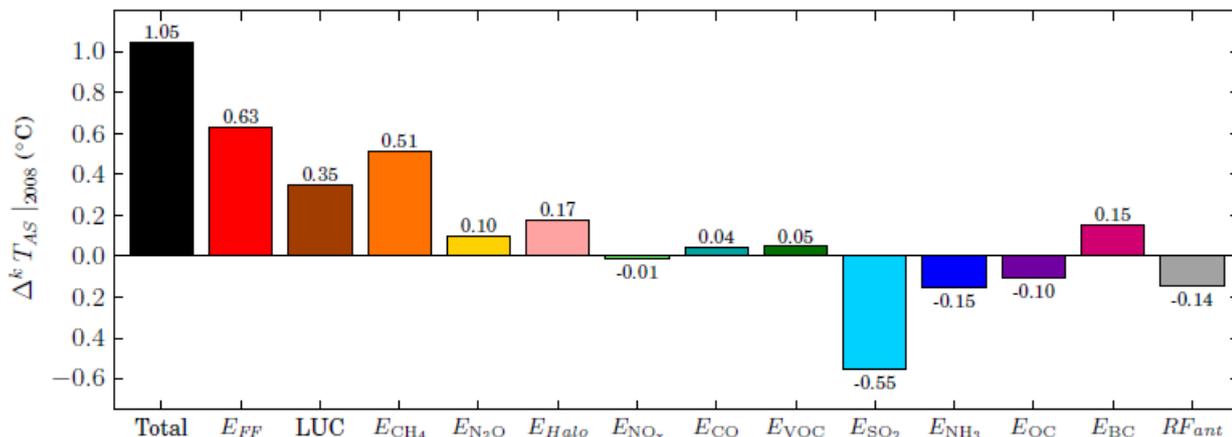


Figure 10 : Progression de l'augmentation de la température moyenne mondiale en 2008 imputable à tous les facteurs anthropiques du changement climatique. EX désigne les émissions du composé X, LUC désigne l'utilisation des terres et les facteurs de changement de la couverture terrestre, RF_{ant} comprend l'effet d'albédo des changements de la couverture terrestre et BC le dépôt de la neige.

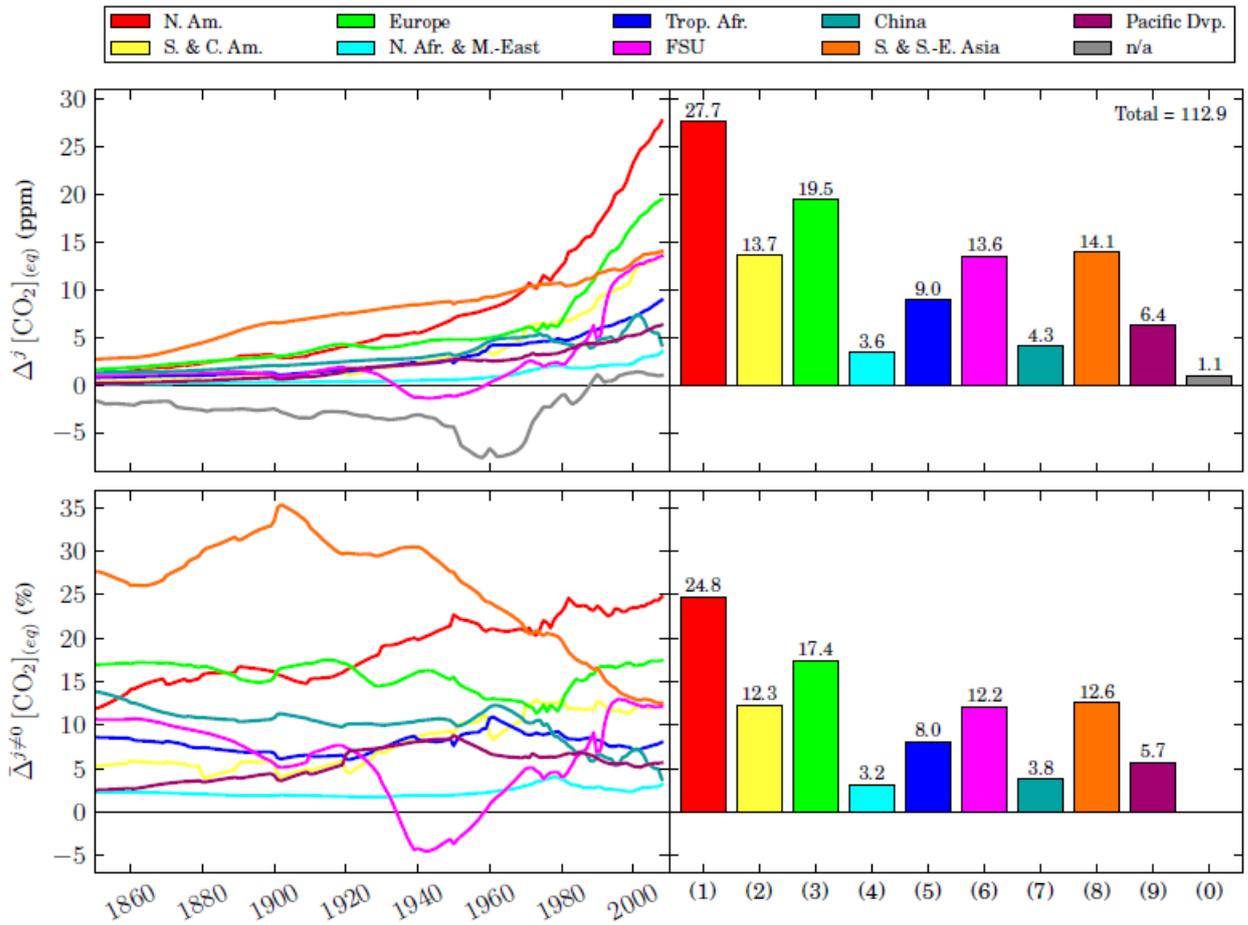


Figure 11 : Attribution régionale du forçage radiatif anthropique au fil du temps, exprimée en valeur absolue (schéma du haut) et en valeurs relatives (schéma du bas). Les schémas de droite se concentrent sur la dernière année d'attribution qui est l'année 2008. Le forçage radiatif est exprimé en équivalent de CO₂.

producteurs, émetteurs, préindustriel), nous obtenons les résultats globaux, exprimés en équivalent de CO₂, illustrés sur la figure 11. On peut voir l'importance précédemment mise en évidence de CH₄ et de SO₂ : ces deux espèces jouent un rôle important dans l'attribution régionale. En effet, la contribution passée de l'Asie du Sud et du Sud-Est a été très élevée et reste significative de nos jours, en raison des fortes émissions de méthane associées aux rizières. De la même manière, mais en sens inverse, la contribution chinoise au changement climatique est actuellement en baisse en raison d'une très forte émission de SO₂, qui est un précurseur d'aérosols de sulfate. Ces aérosols refroidissent le climat et cet effet, concernant la Chine, est actuellement plus fort que l'effet de réchauffement induit par leurs émissions de gaz à effet de serre.

USAGE DES SOLS

L'usage des sols est, historiquement, le premier facteur anthropique d'impacts sur l'environnement. Il constitue aujourd'hui un facteur majeur qui contribue au réchauffement climatique mondial avec les émissions de CO₂ provenant de la déforestation, de la décomposition de la biomasse et des feux de tourbe, qui représentent 17,3 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, et les émissions de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (NO₂) (14,4 % et 7,9 % respectivement des émissions mondiales) qui résultent, en grande partie, des activités agricoles

(GIEC, 2007). L'usage des sols affecte également le climat à une échelle locale et régionale, à cause du rôle de la végétation dans la régulation des températures et des précipitations (Chase et al., 2000). Enfin, l'usage des sols a un impact direct sur la biodiversité dans le monde entier (Sala et al., 2000) et constitue la principale source de dégradation des sols (Tolba et al., 1992).

Dans les prochaines décennies, les acteurs du secteur de l'agriculture, en particulier les décideurs, devront résoudre l'équation complexe de répondre aux besoins croissants alimentaires et énergétiques, induits par l'évolution démographique et l'épuisement des sources de combustibles fossiles, qui s'accompagnent de la hausse potentielle des prix des intrants et de la réduction de leur empreinte environnementale. Par ailleurs, il est à présent admis que les objectifs de réduction de concentration des gaz à effet de serre (moins de 4 Wm⁻²) seront difficiles à réaliser sans un important stockage de carbone dans le sol et la biomasse (van Vuuren et al., 2007).

Des objectifs de stabilisation du climat ambitieux peuvent, en effet, se traduire par une exigence d'émissions nettes négatives vers la fin du siècle (voir ci-dessus). Les émissions négatives de CO₂ peuvent être réalisées en utilisant des méthodes directes ou indirectes d'élimination du CO₂, par exemple, en renforçant les puits de carbone des sols contre l'érosion, en utilisant le biochar, la capture

directe ou la bioénergie avec capture et stockage du carbone (BECCS pour *bio-energy with carbon capture and storage*). Selon le GIEC, la BECCS pourrait jouer un rôle important dans les scénarios de stabilisation à bas réchauffement pour fournir de l'énergie avec des émissions nettes négatives à grande échelle. Dans certains scénarios, la technologie BECCS atteint jusqu'à 200 EJ/an en 2100, soit 12 % de l'approvisionnement total en énergie. Ces scénarios impliquent la conversion de plusieurs millions d'hectares de terres en culture ou plantation bioénergétique, accentuant ainsi les conflits portant sur l'utilisation des terres.

Usage des sols : couplage des modèles macro-économiques avec des modèles climatiques

Pour compléter le cadre de modélisation économie-climat-carbone, il est nécessaire d'établir le dialogue entre le modèle économique IMACLIM-R et les modèles de climat et de végétation IPSL-CM5 et ORCHIDEE (voir figure 12). Pour ce faire, nous avons développé, au sein du projet DECLIC, un modèle d'utilisation des terres, appelé *Nexus Land-Use* (NLU) qui fournit un cadre de modélisation bioéconomique permettant d'assurer la cohérence au niveau mondial entre les comportements économiques et les contraintes biophysiques spatiales (Souty et al. 2012).

L'objectif de ce modèle est de représenter les mécanismes régissant l'intensification de la productivité agricole et de déterminer sa réaction en réponse à divers types de facteurs. Basé sur la théorie ricardienne, le modèle permet de calculer une rente foncière qui reflète la rareté et les qualités hétérogènes de la terre. Pour y parvenir, il utilise les distributions

chimiques, en minimisant leur coût de production, et des contraintes biophysiques. La rente foncière est un élément clé du modèle couplé NLU/IMACLIM-R car il permet d'assurer la cohérence des profils de consommation et d'énergie projetés par IMACLIM-R avec les contraintes biophysiques, en particulier pour les scénarios qui dépendent fortement de l'énergie de la biomasse. En outre, NLU restitue à IMACLIM-R les intrants chimiques et leurs émissions associées, éléments qui sont nécessaires pour répondre à la demande de biomasse. L'intensification agricole est évaluée dans le cadre de NLU sur la base des prix relatifs des terres et des engrais. Les prix des engrais sont calculés en utilisant le prix de l'énergie (pétrole et gaz) calculé par IMACLIM-R et sont donc cohérents avec l'environnement macroéconomique.

Le modèle NLU permet également le dialogue avec les modèles biophysiques, tels qu'ORCHIDEE, étant donné, d'une part, qu'il est en mesure d'intégrer les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles et, d'autre part, qu'il est en mesure de fournir à ORCHIDEE les données de changements d'utilisation des terres résultant des activités économiques. Il devient ainsi possible de modéliser l'impact des changements d'utilisation des terres sur le climat et inversement et donc de fournir une évaluation intégrée, du climat à l'économie, de futurs scénarios d'atténuation.

Parmi d'autres utilisations possibles du modèle NLU figurent : (i) évaluer l'impact de divers scénarios (régimes alimentaire, biocarburants, prix de l'énergie fossile et des intrants agricoles, politiques forestières et politiques commerciales) sur l'intensification agricole mondiale (voir la section suivante) ; (ii) estimer l'impact de la mise en exploitation de nouvelles terres marginales sur le niveau mondial d'utilisation des terres et d'intensification agricole.

Pour expliquer le fonctionnement du modèle, nous avons fait tourner le modèle NLU jusqu'en 2050 pour différentes évolutions de la surface des terres arables et pour différentes valeurs du prix de l'énergie et des intrants chimiques (Souty et al., 2012). Pour cette analyse de sensibilité, nous avons testé des variantes d'expansion des zones agricoles entre 2001 et 2050 comprises entre 0 et 20 % et une valeur de l'indice des prix des intrants en 2050 comprise entre + 0 % et + 200 %.

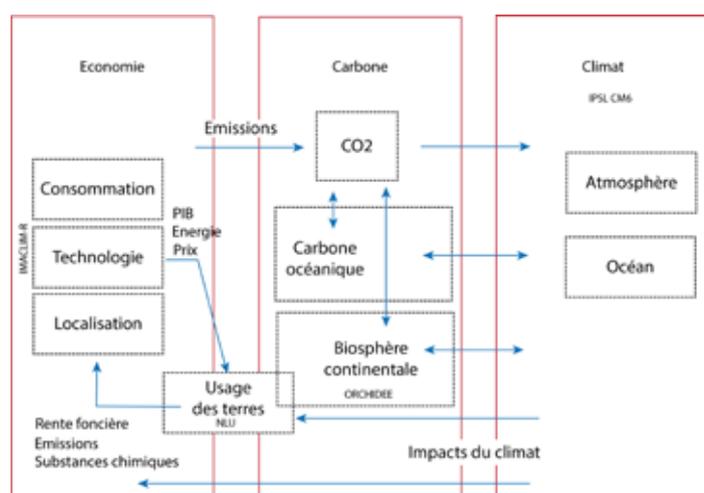


Figure 12 : Schéma présentant la modélisation intégrant économie, carbone et climat.

de rendement potentiel (maximal) des cultures et permet de modéliser une frontière de production entre un système extensif (pâturage extensif seulement), situé sur des terres à faible potentiel de rendements, et un système intensif, composé de prairies et de terres cultivées fertilisées (Souty et al., 2012). La rente foncière calculée par NLU résulte donc à la fois de l'optimisation faite par les agriculteurs, qui décident de leur utilisation de la terre et des intrants

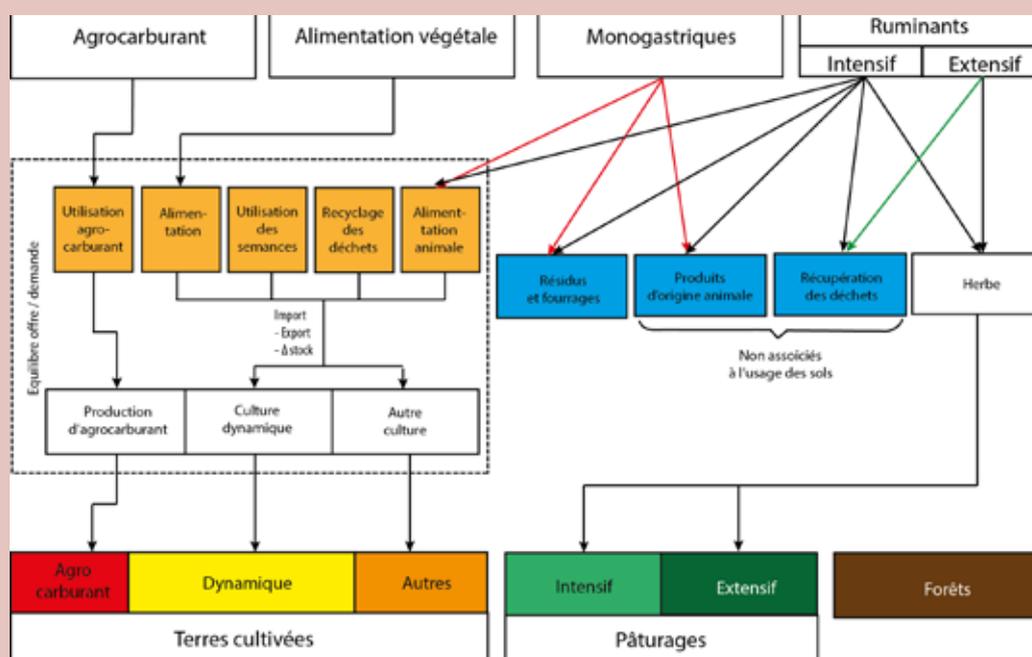
La figure 13 illustre le pourcentage des pâturages extensifs dans l'utilisation totale des terres, reflétant l'intensification du secteur de l'élevage, et le pourcentage de rendement des cultures. Dans le modèle NLU, les niveaux d'intensification sont calculés sur la base des prix relatifs des terres et des intrants chimiques. Pour un prix de la terre donné, une augmentation du prix des intrants chimiques entraîne une baisse d'utilisation d'engrais et de pesticides et la réduction des rendements. Inversement, un prix plus élevé de la terre, toutes choses étant égales par

La composante agricole du modèle macro-économique IMACLIM-R : le modèle NLU

Le modèle Nexus Land-Use (NLU) simule les changements mondiaux du secteur agricole sous diverses hypothèses de demande de biomasse (Souty et al., 2012). Il repose sur les principes suivants :

- Une demande annuelle d'agro-carburants, d'aliments végétaux et de calories animales doit être satisfaite par une offre adéquate compte tenu d'un scénario de déforestation ;
- Le modèle calcule les niveaux d'intensification de la productivité agricole qui minimisent les coûts de production dans le respect de l'équilibre entre l'offre et la demande de biomasse;
- Les processus d'intensification sont modélisés à la fois pour les cultures et l'élevage suivant deux méthodes décrites ci-dessous.

Le NLU combine diverses sources de données. Parmi ces dernières, trois sont particulièrement importantes : le modèle de végétation LPJmL qui est utilisé pour paramétrer les rendements des cultures ; la représentation des systèmes de production de bétail de Bouwman et al. (2005) et la base de données mondiale Agribiom (Dorin, 2011) qui prévoit l'équilibre de la biomasse en kilocalories



La structure de base du modèle NLU

Chaque type d'usage des sols modélisé dans NLU est dérivé des matières premières utilisées pour produire des agrocarburants, des aliments végétaux ou des produits animaux. La catégorie « culture dynamique » désigne des cultures modélisées de façon endogène, contrairement à la catégorie « autre culture » pour laquelle le modèle LPJmL ne fournit pas de données. Les catégories intensive et extensive correspondent à la distinction faite par Bouwman et al. entre les différents systèmes d'élevage.

La modélisation de la production agricole s'effectue en plusieurs étapes. D'abord, un rendement potentiel représentatif est calculé sur une grille 0.5°x0.5° à partir des rendements potentiels indiqués par LPJmL pour onze types fonctionnels de cultures. Sont ensuite établies des classes de terre regroupant les points de grille correspondant au même potentiel de rendement. Le rendement réel dans chaque classe de terre est déterminé en fonction de la consommation d'engrais et de pesticides. Cette fonction est enfin optimisée de façon à minimiser les coûts de production en fonction des données fixées de travail et de capital.

Selon Bouwman et al. (2005), deux systèmes d'élevage de ruminants sont considérés : (i) un système dit extensif au sein duquel les animaux sont nourris principalement au pâturage et, dans une certaine mesure, de produits animaux (petit lait) ; (ii) un système intensif ou mixte-sans terre au sein duquel les animaux sont nourris non seulement avec de l'herbe, mais aussi avec des résidus et des fourrages, des cultures vivrières et des produits animaux.

Inspiré par les principes ricardiens, le modèle NLU permet de modéliser une frontière de production entre ces deux systèmes selon un critère de minimisation des coûts. Dans ce cadre théorique, le système intensif est censé être situé sur les terres les plus productives, avec les terres arables. Cette division des terres agricoles ne correspondant pas tout à fait aux données, nous avons créé une catégorie supplémentaire de pâturages extensifs, appelée « pâturages résiduels ».

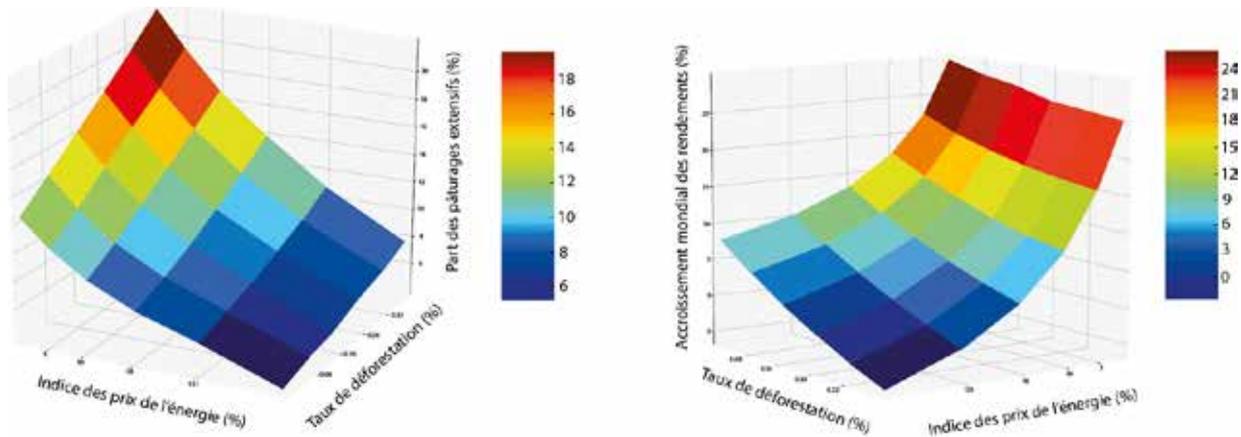


Figure 13 : Variations de pâturage extensif (à gauche) et rendements des cultures (à droite) simulées en utilisant le modèle NLU en fonction des prix des intrants chimiques et du taux d'expansion des terres agricoles entre 2001 et 2050.

ailleurs, favorise l'utilisation d'intrants chimiques et stimule l'augmentation de rendement. La figure 13 illustre la non-linéarité des modèles concernant l'intensification des cultures et de l'élevage. Elle montre également que l'élasticité du rendement des cultures, par rapport aux prix des intrants, diminue au fur et à mesure que les terres se font rares.

Changement de régime alimentaire : une analyse prospective

Les changements de régime alimentaire constituent une préoccupation importante dans de nombreux domaines. La hausse de la consommation de produits d'origine animale riches en matières grasses, la pression sur les marchés alimentaires et sur le système de production agricole générée par une demande alimentaire plus élevée, sont des sources de préoccupations pour la santé publique, la sécurité alimentaire et le changement climatique.

Parmi les principales projections récentes de la consommation alimentaire, la croissance estimée de la disponibilité alimentaire entre 2005 et 2050 varie du simple au double (de +9 % à +20 %) (scénarios FAO, MA Board, 2005 ; Tilman et al, 2011 ; Alexandratos Bruinsma, 2012). La gamme des possibilités relatives à l'« avenir alimentaire » est encore plus étendue lorsque l'on tient compte d'hypothèses plus strictes sur la convergence de régime, passant d'une quasi-stabilité, avec un scénario basé sur une convergence vers des conditions d'alimentation durables (scénario AG1), pour atteindre +45 %, avec un scénario de convergence vers les habitudes alimentaires des

États-Unis en 2005 (scénario USConv, voir figure 14). La gamme la plus grande des possibilités correspond aux calories animales qui sont au cœur du processus de convergence de régime alimentaire, leur production impliquant un usage particulièrement intensif des terres.

Nous avons évalué, dans le cadre du projet ACACCYA, l'impact sur l'agriculture de ces différents scénarios de régime alimentaire, chacun étant basé sur des hypothèses distinctes de l'influence de la mondialisation sur les régimes alimentaires. Nos résultats, publiés dans Brunelle et al. (2014), fournissent des visions très contrastées du système agricole en 2050 (figure 15). Selon les scénarios, les hypothèses concernant d'autres paramètres restant les mêmes (population, prix de l'engrais, etc.), la superficie des terres cultivées en 2050 varie entre 2 000 Mha et 2 900 Mha, l'écart de rendement varie entre 20 % et 60 %, l'intensification de la production animale varie entre 73 % et 98 % et la consommation d'engrais entre 200 Mt/an et 1 500 Mt/an. Comme prévu, les plus grands impacts sur les écosystèmes sont associés à la convergence plus forte vers les régimes occidentaux.

La croissance du commerce de calories alimentaires végétales varie entre +80 % (scénario FAO) et +280 % (scénario USConv). Elle s'élevait à +460 % entre 1961 et 2005 avec une croissance de la production alimentaire végétale de l'ordre de +150 %. Dans l'ensemble, les scénarios de régime alimentaire ont peu d'influence sur la direction des flux commerciaux, en dehors de quelques exceptions (par exemple, l'Europe et les pays de l'OCDE de la région du Pacifique devenus des exportateurs nets dans le scénario AG1, alors qu'ils sont importateurs nets dans les autres scénarios).

Sans grande surprise, les principaux exportateurs nets en 2050 (en pourcentage de la production nationale) sont les pays d'Amérique latine, les États-Unis et le Canada (figure 16), tandis que les principaux importateurs nets sont l'Inde et le Moyen-Orient. En dépit de ses importantes réserves de production, l'Afrique est un importateur net dans tous les scénarios, car cette région est également confrontée à la plus forte augmentation de la demande alimentaire par rapport aux autres régions.

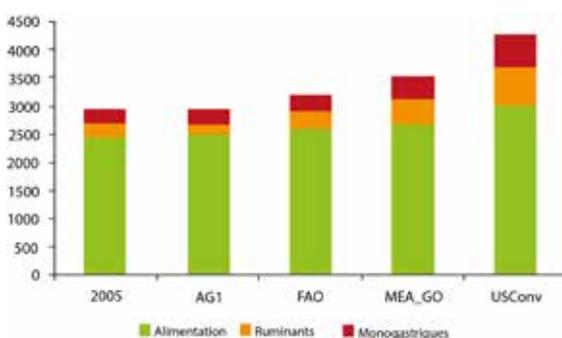


Figure 14 : La disponibilité alimentaire moyenne mondiale en 2005 et en 2050 selon les quatre scénarios de régime étudiés (en kcal/hab/jour).

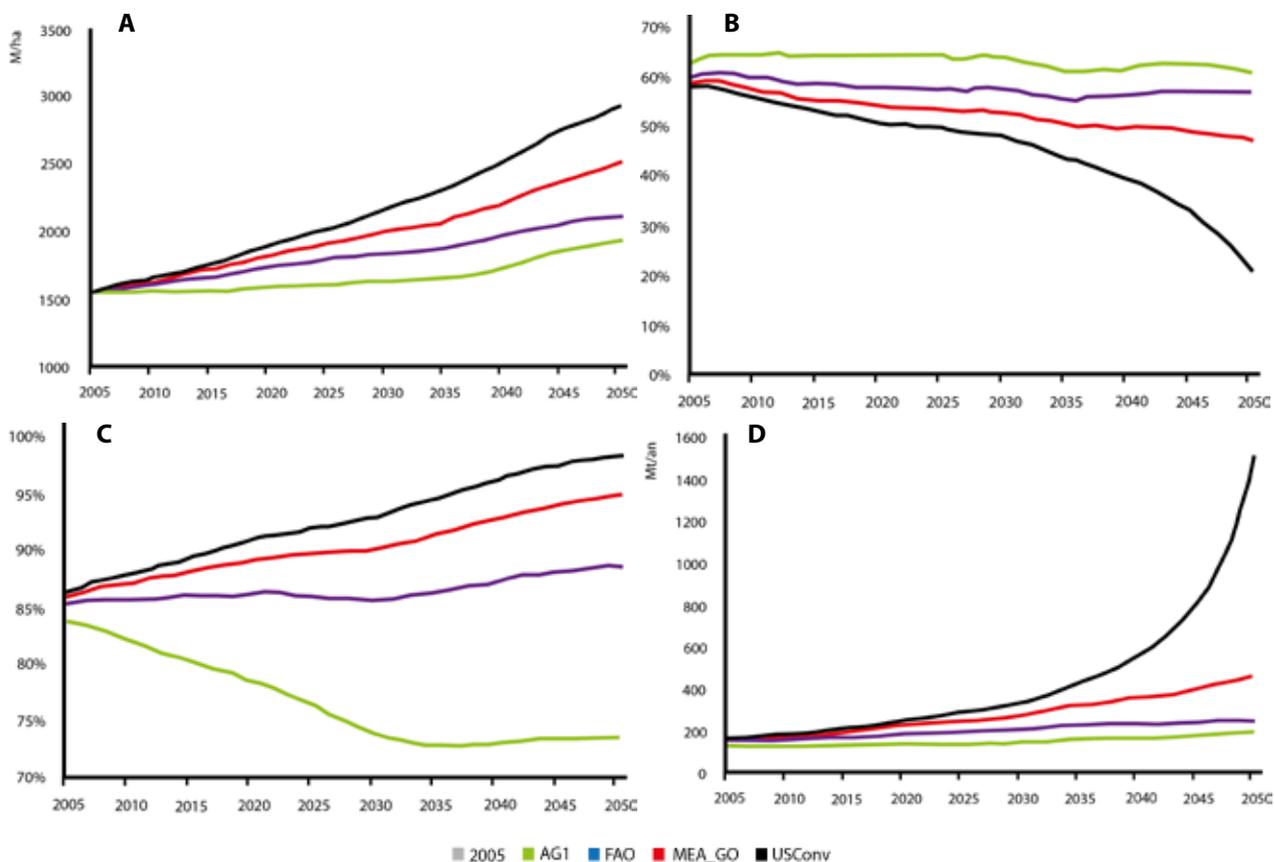


Figure 15 : Évolution de la superficie des terres cultivées (A), la part de la production intensive de ruminants dans la production totale de ruminants (B), l'écart de rendement au rendement potentiel (C) et la consommation d'intrants chimiques (D) dans les quatre scénarios de régimes étudiés.

Nos résultats concernant le commerce international sont assez semblables à ceux d'Alexandratos et Bruinsma (2012) concernant les céréales. Une différence notable concerne l'Europe qui est un exportateur net (mineur) en 2050 selon Alexandratos et Bruinsma (2012) alors qu'elle est un importateur net dans tous nos scénarios en 2050, à l'exception du scénario AG1. La croissance du commerce d'aliments végétaux dans le scénario MEA_GO est similaire à la croissance du commerce des grains du scénario « *Global Orchestration* » du *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) (+200 % entre 1997 et 2050 contre +160 % entre 2005 et 2050 dans notre simulation).

Cependant, l'Afrique sub-saharienne devient un exportateur net en 2050 selon le MEA, alors qu'elle est un importateur net dans nos simulations.

Les tests de sensibilité de nos résultats aux hypothèses concernant la production de biocarburants, la déforestation, les rendements potentiels des cultures et l'utilisation efficace des éléments nutritifs, apportent de nombreux éclairages intéressants. Tout d'abord, les impacts du développement des biocarburants et des politiques de réduction de la déforestation sur l'agriculture augmentent plus que proportionnellement lorsque les régimes alimentaires

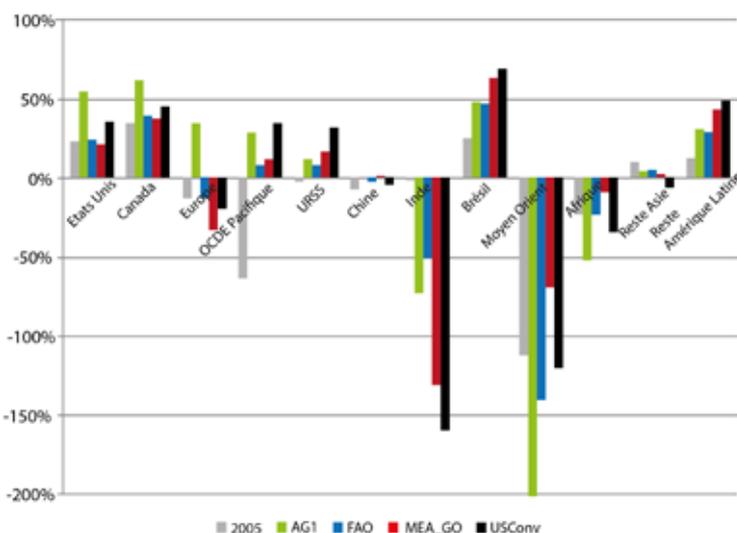


Figure 16 : La balance commerciale des produits alimentaires végétaux par rapport à la production alimentaire végétale en 2005 et en 2050 selon les quatre scénarios de régime étudiés.

requièrent un usage particulièrement intensif des sols, en raison des effets non-linéaires liés à la disponibilité limitée des terres et à la relation rendement-engrais. En d'autres termes, les différents usages des sols deviennent de plus en plus interdépendants, au fur et à mesure que les pressions sur l'agriculture et la terre augmentent, car la quantité de terre et d'engrais nécessaires pour produire une unité de biomasse est plus importante dans un système soumis à de fortes contraintes. Ensuite, notre analyse montre qu'une croissance annuelle du rendement potentiel d'environ la moitié de ce qui a été réalisé pendant la Révolution verte, est plus efficace qu'une augmentation de 20 % de l'efficacité d'utilisation des nutriments (NPK) lorsqu'il s'agit de réduire les pressions sur l'utilisation des terres. Le réalisme de ces stratégies reste cependant à évaluer.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

De nombreux enseignements méthodologiques et sur le fond peuvent être tirés de l'ensemble des simulations présentées dans ce chapitre. Celui que nous tenons à souligner dans cette conclusion est le contraste, pour un même objectif climatique donné, entre les faibles différences de bilan de carbone obtenues par les différents modèles du cycle du carbone et les très grandes différences de coûts économiques dérivés des modèles économiques. Cela retentit de manière importante sur l'élaboration des politiques et des stratégies de recherche.

La première implication globale est de renforcer la nécessité de mettre en œuvre des politiques climatiques ambitieuses dès maintenant pour se prémunir contre l'incertitude. Si nous « découvrons » plus tard que les modèles du cycle du carbone donnant les valeurs les moins élevées du bilan de carbone pouvant encore être émis pour un objectif climatique sont les bons, le coût des mesures pour faire baisser les profils des émissions de gaz à effet de serre pourraient être très élevés (Minh-Ha Duong et al. 1997). En conséquence, investir pour améliorer la précision du cycle du carbone constitue un avantage économique et social. Le progrès peut sembler marginal d'un point de vue purement physique mais il ne l'est pas lorsque des considérations économiques entrent en jeu. En termes économiques, il s'agit là de la « valeur de l'information » et il apparaît clairement qu'il serait utile d'effectuer une étude, basée sur les modèles les plus récents, visant à étayer la démonstration réalisée par Ambrosi et al (2003) sur la valeur économique d'une réduction la plus rapide possible de l'incertitude.

Enfin, ce chapitre et ce programme définissent les stratégies scientifiques à mettre en œuvre dans les prochaines années en soulignant l'importance d'un progrès parallèle dans l'intégration de l'utilisation des terres, à la fois dans les modèles du système Terre et les modèles économiques. Il rappelle également la nécessité de faire évoluer les modèles d'évaluation intégrée au profit du dialogue interdisciplinaire. La faisabilité de ces évolutions a été démontrée dans ce document de même que les « chaînons manquants » qui nécessitent également de faire l'objet d'avancées.

RÉFÉRENCES

Ambrosi P., J-C. Hourcade, S. Hallegatte, F. Lecocq, P. Dumas, M-H. Duong, 2003 Optimal control models and elicitation of attitudes towards climate damages, *Environment Modelling and Assessment* 177-209.

Alexandratos, N. and J. Bruinsma, 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.

Bouwman, A., der Hoek, K. V., Eickhout, B., and Soenario, I., 2005. Exploring changes in world ruminant production systems. *Agricultural Systems*, 84(2), 121-153.

Brunelle, T., Dumas, P., and Souty, F., 2014. The impact of globalization on food and agriculture : The case of the diet convergence. *The Journal of Environment & Development*.

Ciais, P., et al., 2013: Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Chase T.N., R.A. Pielke Sr., T.G.F. Kittel, R.R. Nemani and S.W. Running, 2000. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter, *Climate Dynamics*, 16 (2-3), pp 93-105. Doi : 10.1007/978-94-011-2280-1_6.

Dorin, B., 2011. Agribiom caloric balance sheets. In Paillard et al. *Updated estimates from Agribiom: a tool for scenario-building and hybrid modelling*, 2011, pp 25-65.

Dufresne J-L. Foujols, M-A, Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., Balkanski, Y., Bekki, S., Bellenger, H., Benschila, R., Bony S., Bopp, L., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., Cheruy, F., Codron, F., Cozic, A., Cugnet, D., de Noblet, N., Duvel, J-P., Ethé, C., Fairhead, L., Fichefet, T., Flavoni, S., Friedlingstein, P., Grandpeix, J-Y., Guez, L., Guilyardi, E., Hauglustaine, D., Hourdin, F., Idelkadi, A., Ghattas, J., Joussaume, S., Kageyama, M., Krinner, G., Labetoulle, S., Lahellec, A., Lefebvre, M-P, Lefevre, F., Levy, C., Li, Z. X., Lloyd, J., Lott, F., Madec, G., Mancip, M., Marchand, M., Masson, S., Meurdesoif, Y., Mignot, J., Musat, I., Parouty, S., Polcher, J., Rio, C., Schulz, M., Swingedouw, D., Szopa, S., Talandier, C., Terray, P., Viovy, N, 2013, Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5, *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/S00382-012-1636-1.

Gasser, T., Ciais, P., 2013, A theoretical framework for the net land-to-atmosphere CO₂ flux and its implications in the definition of "emissions from land-use change". *Earth System Dynamics* 4, 171–186.

Gasser, T., Ciais, P., Paris, J-D., Viovy, N., Regional attribution of the effects of anthropogenic CO₂ emissions on the carbon-cycle: 1. methodology. *Global Biogeochemical Cycles*, en révision.

Gasser, T., Ciais, P., Paris, J-D., Viovy, N., Regional attribution of the effects of anthropogenic CO₂ emissions on the carbon-cycle: 2. attribution. *Global Biogeochemical Cycles*, en révision.

Gasser, T., C. Guivarch, K. Tashiiri, C. Jones, P. Ciais, 2015. How much negative emission is physically needed to keep global warming below 2°C. *Nature Communications* 6 : 7958. doi:10.1038/ncomms8958.

M Ha-Duong, MJ Grubb, JC Hourcade, 1997, Influence of socioeconomic inertia and uncertainty on optimal CO₂-emission abatement, *Nature* 390 (6657), 270-273.

- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, 996 pp.
- Jones, C. D., Friedlingstein, P., Arora, V., Bopp, L., Cadule, P., Reick, C., Segschneider, J., Tjiputra, J., Roelandt, C., Shevliakova, E., Kato, E., Hajima, T., Kawamiya, M., and Lindsay, K., 2013, Twenty-First-Century Compatible CO₂ Emissions and Airborne Fraction Simulated by CMIP5 Earth System Models under Four Representative Concentration Pathways. *J. Climate*, 26, 4398–4413. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00554.1>.
- Le Quere, C., Raupach, M.R., Canadell, J.G., and Marland et al., G., 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geosci* 2, 831–836.
- MA Board (2005). *Ecosystems and human well-being: Scenarios* (Vol. 2). Washington, DC: Island Press.
- Meinshausen, M., et al., 2011: The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, *Clim. Change*, 109, 213–241.
- Moss, R. H. et al., 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies, IPCC Expert Meeting Report, IPCC, Geneva.
- Moss R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant, and T. J. Wilbanks, 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747 – 756. doi:10.1038 / nature08823, ISSN: 0028 – 0836.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R., and Vuuren, D.P. van (2013). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* 122, 387–400.
- Sala, O.E., Chapin, I.F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber, Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.H., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Leroy Poff, N., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287 (5459), 1770–1774.
- Souty, F., T. Brunelle, P. Dumas, B., Dorin, P. Ciais, R. Crassous, C. Müller et A. Bondeau, 2012: The Nexus Land-Use model version 1.0, an approach articulating biophysical potentials and economic dynamics to model competition for land-use, *Geosci. Model Dev.*, 5, 1297-1322, doi:10.5194/gmd-5-1297-2012.
- SRES, 2000. Special Report on Emission Scenarios, IPCC.
- Taylor, K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl, 2012: An Overview of CMIP5 and the experiment design." *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260–20264.
- Tolba M.K. and O.A. El-Kholy, 1992. Land degradation, in *The World Environment 1972-1992*, Part 1, pp 131-155, Springer. doi : 10.1007/978-94-011-2280-1_6.
- Van Vuuren D.P., M.G.J. den Elzen, P. L. Lucas, B. Eickhout, B.J. Strengers, B. van Ruijven, S. Wonink and R. van Houdt, 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs, *Climatic Change*, 81:119–159. DOI 10.1007/s10584-006-9172-9.
- Van Vuuren D., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. J. Smith, and S. K. Rose, 2011(a). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5 – 31. doi:10.1007 / s10584-011-0148-z, ISSN: 0165-0009, 1573 – 1480.
- Van Vuuren D., E. Stehfest, M. G. J. den Elzen, T. Kram, J. van Vliet, S. Deetman, M. Isaac, K. Klein Goldewijk, A. Hof, A. Mendoza Beltran, R. Oostenrijk, and B. Ruijven, 2011(b). RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climatic Change* 109, 95 – 116. doi:10.1007 / s10584-011-0152-3, ISSN: 0165-0009, 1573 – 1480.

Approches multidisciplinaires pour l'étude des événements extrêmes

Coordinateurs : P. Drobinski
P. Yiou

Contributeurs : S. Bastin (MEDICCBIO)
J.C. Dutay (MEDICCBIO)
E. Garnier (RENASEC)
R. Generoso (MICALIV)
S. Joussaume (CLIMVIB)
P. Leadley (HUMBOLDT)
P. Naveau (PEPER)
J. Quensière (ERIC)
B. Sultan (REGYNA)
J.P. Vanderlinden (EUCLEIA)
R. Vautard (EXTREMOSCOPE)

Approches multidisciplinaires pour l'étude des événements extrêmes

INTRODUCTION

Comment étudier les événements extrêmes sous différents angles disciplinaires afin de mieux les comprendre et les modéliser et afin de réduire notre vulnérabilité à l'égard de ces événements et se protéger de leurs effets ? Ce chapitre aborde cette problématique en développant quatre questions :

- Comment observer et modéliser des phénomènes rares et potentiellement catastrophiques ?
- Quelles sont les échelles spatiales et temporelles pertinentes pour étudier les événements extrêmes ?
- Quels sont les mécanismes physiques, chimiques et biologiques en jeu dans la formation des événements extrêmes et comment interagissent-ils ?
- Comment détecter et attribuer les événements extrêmes au changement climatique ?

Les réponses à ces questions, forcément encore partielles, sont formulées sur la base des résultats des projets soutenus par le GIS Climat-Environnement-Société. Ces travaux ont également essaimé d'autres projets interdisciplinaires entre les équipes du GIS Climat sur la question des extrêmes climatiques et de leurs impacts sur la société. L'ensemble de ces travaux constitue un socle solide pour proposer des axes de recherche sur cette thématique très multidisciplinaire.

ENJEUX ET VEROUS SCIENTIFIQUES

Le cinquième rapport d'évaluation du GIEC prévoit une augmentation de la température moyenne de la terre comprise entre environ 1,0°C (scénario avec une forte politique d'atténuation) et 3,7°C (scénario sans atténuation) au cours du XXI^{ème} siècle, s'accompagnant d'une montée du niveau des mers de 26 à 82 cm (GIEC, 2013). Ce changement rapide du climat mondial s'accompagne de catastrophes naturelles plus fréquentes (cyclones, sécheresses, inondations...) dans certaines parties du monde. Entre autres conséquences, ces événements extrêmes peuvent être la cause d'une désorganisation radicale de l'agriculture, de grands mouvements de populations abandonnant les régions frappées par les catastrophes (régions inondées ou zones soumises à la désertification) pour se rendre dans des zones moins touchées, de problèmes de santé (désorganisation du système de santé, stress...) et de tensions politiques exacerbées (GIEC, 2012, 2013). La vulnérabilité des populations humaines et des systèmes naturels face aux changements climatiques varie considérablement d'une région à l'autre, entraînant des différences dans leur capacité à s'adapter aux impacts des changements climatiques actuels et futurs ou aux événements extrêmes. Il semble donc essentiel de bien comprendre les interactions espace-temps qui se produisent à l'échelle régionale pour comprendre les contraintes qui s'appliquent à ces sociétés.

Ce chapitre concerne les événements extrêmes, tels les tempêtes, les inondations, les vagues de chaleur ou de froid, les sécheresses prolongées. Ces événements extrêmes dépendent à la fois de télé-connexions climatiques à grande échelle et de processus locaux. Ils sont caractérisés par une faible probabilité d'occurrence mais ayant de fortes conséquences sur les systèmes écologiques et sociaux concernés. Ces événements ont accompagné l'histoire humaine, comme en témoignent les archives historiques. Ils continueront à se produire, mais il est vraisemblable que l'intensité d'événements comme les vagues de chaleur ou les pluies intenses s'accroîtra sur l'effet du changement climatique, alors que les vagues de froid seront moindres et moins fréquentes. En revanche, il n'y a pas de signal net sur l'évolution des tempêtes.

Comment étudier ces événements extrêmes sous différents angles disciplinaires afin de mieux les comprendre et les modéliser et afin de réduire notre vulnérabilité à l'égard de ces événements et se protéger de leurs effets, est la question abordée dans ce chapitre. Cette question possède plusieurs niveaux de complexité, allant de la définition de l'extrême à son observation et sa modélisation.

La définition d'un événement extrême diffère selon qu'elle est traitée sous l'angle de l'aléa météorologique ou bien sous l'angle de la vulnérabilité. Le caractère extrême d'un phénomène météorologique peut être défini par la nature catastrophique de cet événement dans un référentiel des facteurs sociaux, économiques, politiques et environnementaux agissant à divers niveaux. Ces facteurs définissent la vulnérabilité, c'est à dire le niveau de conséquences de l'exposition d'une personne ou de biens à des risques naturels. Du point de vue météorologique, les événements extrêmes sont des événements rares. Le rapport du GIEC précise qu'un événement météorologique extrême est un événement rare en un lieu et à une époque de l'année, c'est à dire normalement aussi rare ou plus rare que le 10^{ème} ou 90^{ème} centile de la fonction de densité de probabilité observée. Autrement dit, le rapport entre le comptage du nombre d'occurrences de l'événement sur le nombre total d'occurrences est inférieur à 10 %. Quand un événement météorologique extrême se prolonge, par exemple sur une saison, il peut être qualifié d'événement climatique extrême (comme par exemple les sécheresses). Dans la suite l'appellation événement extrême sera utilisée sans distinction. La rareté de l'événement a pour conséquence directe un nombre limité d'événements dans les bases de données d'observations météorologiques de qualité. Cette contrainte a des conséquences sur notre capacité à étudier de façon statistique ces événements, à évaluer et à attribuer leur tendance en terme d'occurrence et d'intensité.

D'autre part, les événements extrêmes sont des phénomènes d'échelles spatiales et temporelles de l'ordre de quelques kilomètres à quelques centaines de kilomètres et de quelques heures à plusieurs mois. Leur étude nécessite donc des réseaux d'observations et des outils de modélisation à très fine résolution spatiale et temporelle, mais déployés sur une grande échelle spatiale et de longues séries temporelles. Ceci nécessite le développement de méthodes spécifiques d'analyse de données.

Enfin, le rôle des interactions océan/atmosphère/biosphère dans le cycle de vie des événements extrêmes est une question largement ouverte dans la compréhension des mécanismes. Le développement d'outils de modélisation permettant une bonne représentation des interactions et rétroactions des processus physiques, chimiques, biologiques aux échelles les plus fines entre les différents compartiments du système Terre est devenu un enjeu majeur pour une meilleure compréhension des mécanismes à l'origine des événements extrêmes, de leur variabilité et de leur évolution dans un contexte de changement climatique.

Sans être exhaustif, l'objet de ce chapitre est d'examiner l'apport du GIS Climat pour traiter ces questions de manière multidisciplinaire, incluant géosciences, mathématiques appliquées, histoire des sciences, économie et sociologie.

COMMENT OBSERVER ET MODÉLISER UN ÉVÉNEMENT RARE

Classification des événements extrêmes (MORCEMED - PEPER)

La classification des champs météorologiques permet d'étudier les mécanismes sous-jacents ainsi que leurs effets sur des variables locales. Cet exercice est exécuté de manière routinière pour déterminer la répartition spatiale des situations météorologiques récurrentes. Pour déterminer ces situations météorologiques récurrentes, une quantité très importante de données météorologiques est nécessaire. Les situations météorologiques récurrentes et similaires sont alors rassemblées dans une même classe (voir encadré). On peut alors déterminer de quatre à six classes, selon les auteurs, pour décrire les situations météorologiques d'hiver autour de l'Atlantique Nord (e.g. Michelangeli et al., 1995 ; Corti et al., 1999 ; Plaut and Simonnet 2001).

En revanche, la classification d'événements extrêmes se heurte à une difficulté statistique majeure : le nombre limité d'événements. Dans le cadre du projet MORCE-MED, Stéfanon et al. (2012) ont proposé une méthode pour définir et classer les événements caniculaires dans la région euro-méditerranéenne pour la période 1948-2011. La définition est basée sur le 95^{ème} centile de la fonction locale de densité de probabilité de la température. Des critères supplémentaires ont été définis pour tenir compte de l'extension spatiale et temporelle de la canicule ce qui a constitué une façon simple de pallier au manque de données en un lieu unique. Il est alors possible de déterminer six classes d'événements caniculaires en Europe. Ces classes permettent de distinguer les vagues de chaleur extrêmes les plus catastrophiques (par exemple de 2003 en Europe, 2010 en Russie) (Fig. 1) et sont associées à différents mécanismes physiques. En particulier, un déficit pluviométrique, encore appelé sécheresse météorologique, semble être une condition préalable à l'apparition de la canicule dans certains groupes (en Europe de l'ouest ou en Russie) mais pas tous.

Cette approche statistique permet de décrire la variabilité temporelle des températures extrêmes : une canicule européenne fait partie d'une des six classes identifiées dans la figure 1.

On peut également s'intéresser à la variabilité spatiale des extrêmes, *i.e.* s'intéresser à la manière dont les

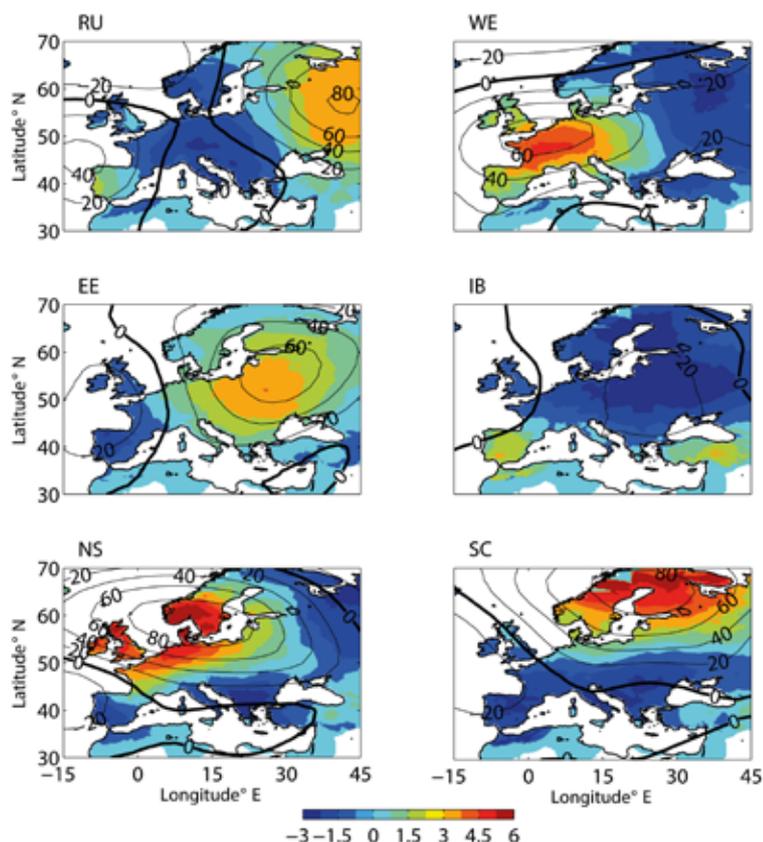


Figure 1 : Situations météorologiques types obtenues par classification hiérarchique pour la région euro-méditerranéenne : (a) classe "Russie" (RU), (b) classe "Europe occidentale" (WE), (c) classe "Europe orientale" (EE), (d) classe "Péninsule ibérique" (IB), (e) classe "Mer du Nord" (NS) and (f) classe "Péninsule scandinave" (SC). Les anomalies du maximum quotidien de température par rapport à "la normale" sont indiquées en couleur (°C) et les isolignes correspondent à l'anomalie du géopotential à 500 hPa. Source: Stéfanon et al. (2012a).

Méthodes de classification

Les "régimes de temps", également nommés "types de temps" ou "régimes de circulation atmosphérique", sont une approche relativement simple pour caractériser les principaux modes de variabilité de l'atmosphère pour une région donnée du globe. L'identification de ces régimes de temps requiert des méthodes de classification qui cherchent à mettre dans un même groupe des champs atmosphériques (pression, température, ...) qui sont proches les uns des autres, et à séparer dans des groupes différents des champs différents les uns des autres. La méthode la plus connue est la méthode k-means, appelée encore "k-moyennes" ou "nuées dynamiques". Étant donné des champs atmosphériques et un entier k, le problème est de diviser les points en k partitions, souvent appelés clusters, de façon à minimiser une certaine distance entre les champs et la moyenne des champs de son cluster. Les méthodes de classification hiérarchique, également très populaires, génèrent un arbre (ou dendrogramme) en groupant successivement à chaque étape deux clusters pour en former un nouveau, jusqu'à ce qu'il ne reste qu'un groupe contenant tous les champs atmosphériques. L'arbre ainsi obtenu est alors "coupé" au niveau choisi pour avoir le nombre souhaité de clusters.

régions géographiques se ressemblent quand elles rencontrent des extrêmes. La théorie multivariée des valeurs extrêmes fournit un modèle théorique pour représenter les dépendances entre des maxima enregistrés à différents endroits. Une stratégie originale développée dans le cadre du projet PEPER propose de mesurer la distance entre deux séries de données en fonction de la dépendance de leurs extrêmes (e.g. Vannitsem et

Naveau, 2007 ; Naveau et al., 2009). La méthode de classification est similaire à la méthode PAM (pour *Partitioning Around Medoids*) proposée par Kaufman (1990) et repose sur la théorie des valeurs extrêmes. Pour tester cette nouvelle approche, Bernard et al. (2013) l'ont appliquée aux maxima hebdomadaires de précipitations horaires de 92 stations météorologiques de Météo-France pendant la saison d'automne (1993-2011). La figure 2 compare les classifications de ces données de précipitation par une méthode classique (k-moyenne, qui minimise une distance basée sur la variance plutôt que les extrêmes ; voir encadré) et la méthode PAM. Il est important de souligner que les méthodes k-moyenne et PAM n'utilisent aucune information géographique, mais seulement des valeurs de précipitations. Identifier des structures spatiales cohérentes à partir des seules mesures de précipitations n'est donc pas automatique. Il apparaît que les méthodes PAM et k-moyenne fournissent des classifications différentes en termes de structures spatiales. C'est l'un des messages les plus importants de ce travail. Choisir une méthode de classification et une métrique spécifique peut avoir un impact important sur les modèles de classification et conduire à des interprétations climatologiques potentiellement dissemblables, voire contradictoires. Une analyse précise de ces classes montre que les classes de la méthode PAM peuvent être interprétées facilement et sont cohérentes avec les caractéristiques climatiques et topographiques. La méthode k-moyenne, inappropriée pour les événements extrêmes, montre moins de cohérence, voire crée des groupements sans structures spatiales (voir les quatre points orange clair isolés en Bretagne).

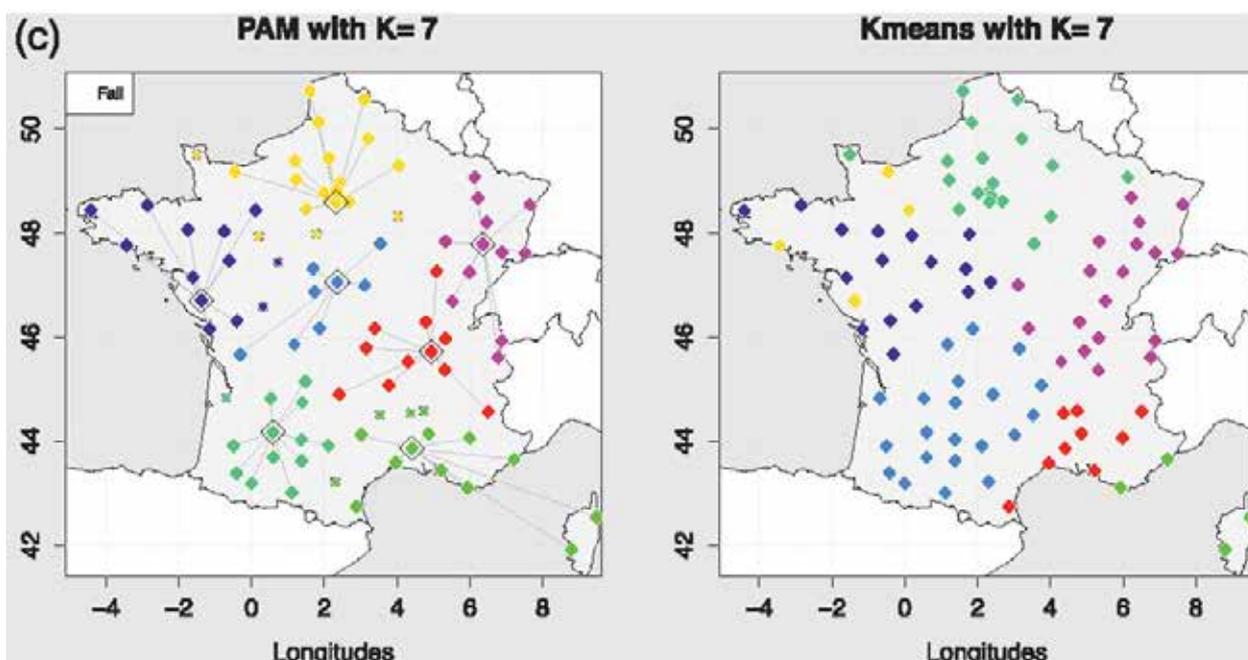


Figure 2 : Classifications des maxima hebdomadaires de précipitations horaires en 92 stations météorologiques de Météo-France pendant la saison d'automne (1993-2011) obtenues par la méthode classique k-moyenne (droite) et la méthode PAM (gauche). Les couleurs distinguent différentes classes. Source : Bernard et al. (2013).

Conception de réseaux de mesure pour l'observation des événements extrêmes (PEPER)

Où faut-il retirer (ou ajouter) des stations météorologiques pour perdre (respectivement, gagner) le moins (respectivement le plus) d'informations concernant les événements extrêmes ? Cette question est essentielle pour concevoir le réseau de mesure et pour pouvoir qualifier d'extrême tel phénomène météorologique observé. Cette démarche répond également au besoin d'une telle qualification par les compagnies d'assurances pour décider ou non de dédommager des dégâts occasionnés. L'étude conduite par Rietsch et al. (2013) dans le cadre du projet PEPER utilise un jeu de données comprenant 331 stations pluviométriques de Météo-France pour la période 1980 à 2010. La carte ci-jointe (Fig. 3) montre trois types de stations : 147 stations avec une très bonne qualité de données (groupe χ_0), 110 stations avec une bonne qualité de données servant pour les procédures de test et validation (groupe χ_Δ) et 74 stations de moins bonne qualité (groupe χ_+). Concernant les extrêmes de pluie et, en regard à la forte densité du réseau dans la région méditerranéenne, se pose la question suivante : est-il préférable d'enlever des stations dans une région de forte densité du réseau où les précipitations sont très abondantes ou dans un endroit isolé où les précipitations sont moins fortes ?

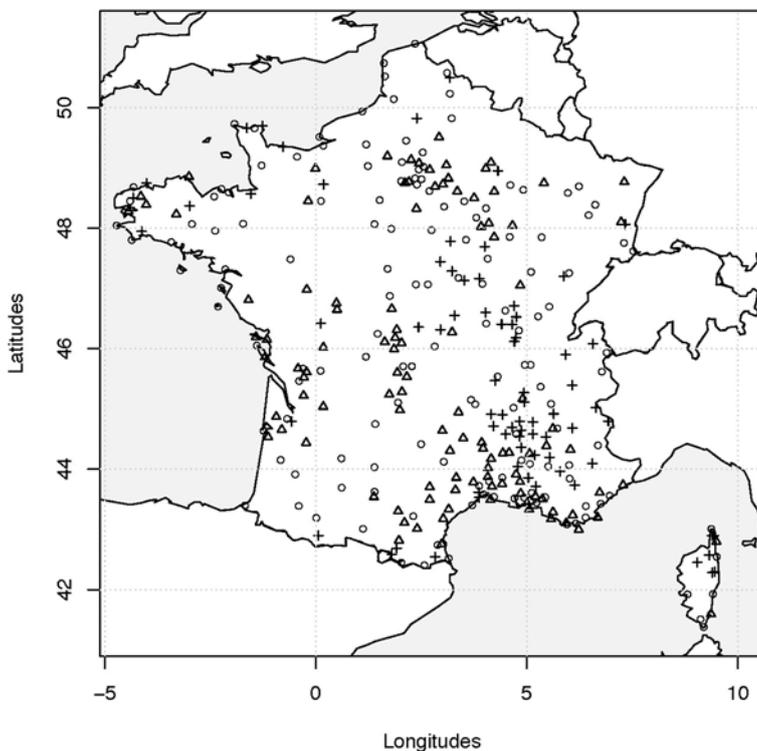


Figure 3 : Localisation de 331 stations de mesures météorologiques de surface en France (source: Météo-France). Le jeu de données χ_0 représenté par des "o" correspond aux 147 stations météorologiques de meilleure qualité. Le second group χ_Δ représenté par des " Δ " correspond aux 110 stations météorologiques de qualité suffisante pour les procédures de validation et test. Le dernier groupe χ_+ représenté par des "+" correspond aux 74 stations météorologiques de moins bonne qualité et contient les stations susceptibles d'être supprimées. Source: Rietsch et al. (2013).

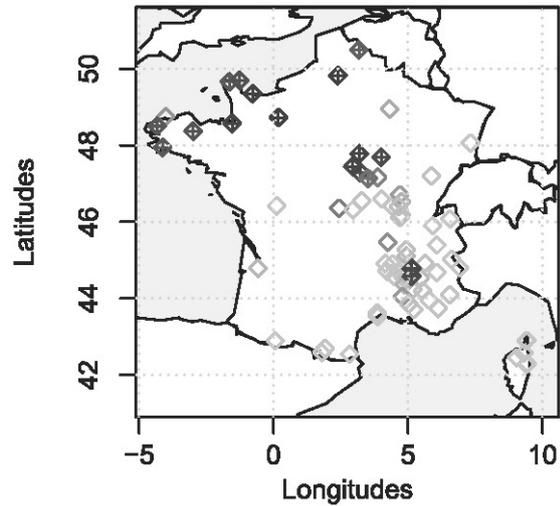


Figure 4: Les sites "supprimables" du groupe des 74 stations météorologiques (χ_+). Le niveau de gris des symboles est proportionnel au nombre de fois qu'une station a été identifiée comme "supprimable" par l'algorithme d'optimisation. Plus le gris est clair, moins la station a été sélectionnée, plus le gris est foncé, plus la station a été sélectionnée. Source: Rietsch et al. (2013).

La clef pour répondre à cette question est l'estimation des incertitudes liées aux paramètres décrivant la probabilité des pluies extrêmes. Rietsch et al. (2013) ont combiné deux approches statistiques assez récentes pour obtenir une réponse optimale au choix de stations météorologiques décrivant au mieux les extrêmes de précipitation. Ces approches sont basées sur la modélisation des extrêmes par des lois de Pareto Généralisées, et sur la modélisation spatiale des paramètres de ces lois par une méthode de réseau de neurones et un algorithme de « Query by Committee » (méthode de type Monte Carlo avec un grand nombre de simulations aléatoires), qui modifie le nombre de stations jusqu'à une convergence du modèle spatial des extrêmes. Cette innovation (par la combinaison de méthodes appartenant à des registres très différents des statistiques) a permis de tester la qualité de la conception du réseau de mesures sur le territoire métropolitain français. Les résultats montrent qu'il est préférable d'enlever des stations au nord, bien que la densité du réseau soit faible, plutôt que dans le sud où la densité est bien plus forte (Fig. 4). Ces conclusions sont expliquées à la fois par des arguments statistiques et climatiques, en particulier la forte hétérogénéité spatiale des précipitations extrêmes dans le sud de la France due au relief.

Recueil de données historiques et socio-économiques sur les événements extrêmes (RENASEC)

Depuis toujours, les extrêmes climatiques ont eu des impacts politiques, économiques et sociaux, variables selon les époques, les régions et les sociétés. Dans un contexte de changement climatique, où une augmentation de la fréquence et de l'amplitude de ces phénomènes est attendue, la connaissance de l'évolution et des impacts matériels, économiques et sociaux des extrêmes climatiques dans le passé présente un intérêt potentiel pour :

- accroître les données disponibles pour avoir une meilleure connaissance de la variabilité de ces phénomènes, en permettre l'analyse statistique et quantifier l'évolution de leur occurrence et intensité dans un contexte de changement climatique ;
- intégrer, dans une même vision, les aléas météorologiques et climatiques et la vulnérabilité des régions affectées ;
- établir des scénarios de gestion de risque aux événements extrêmes en matière d'adaptation au changement climatique.

Ces questions ont été abordées dans le cadre de plusieurs projets du GIS Climat, dont MICLIV et RENASEC et de façon moins directe dans les projets d'incubation ERIC et CLIM-VIB. Le projet MICLIV a abordé ces questions sous l'angle des processus migratoires, du risque d'insécurité alimentaire et des transferts financiers en Afrique de l'Ouest. Il montre le rôle d'ajustement de ces transferts de fonds pour la consommation alimentaire des populations locales en cas de déficit pluviométrique. Néanmoins, cet ajustement ne permet pas de sortir de l'insécurité alimentaire. De plus, il joue un rôle plus faible que celui des migrations de court terme et favorise une hausse des importations agricoles. CLIMVIB montre l'impact potentiel d'événements de pluies extrêmes en Méditerranée sur l'apparition de pics de production de *Vibrios*, bactéries responsables de problèmes de santé. ERIC a, quant à lui, analysé le potentiel de mise en place d'un observatoire interdisciplinaire de la Petite Côte sénégalaise, combinant observation du milieu lieu de concertation, pour l'étude des vulnérabilités et des potentialités environnementales et sociales de cette région.

Le projet RENASEC aborde la question sous l'angle historique et sociologique en matière de perceptions et de réactions des sociétés passées face à l'adversité climatique en Europe. Dans, RENASEC la reconstruction de base de données des événements extrêmes est effectuée via l'impact de ces événements extrêmes sur la société. Le projet RENASEC a été conçu avec pour objectif l'inventaire et la caractérisation des événements extrêmes ayant eu lieu dans plusieurs régions vulnérables françaises depuis 1500. Les résultats ont été exploités pour :

- déterminer si les phénomènes extrêmes ont évolué en amplitude et en fréquence avec le changement climatique actuel, comme le prévoient les modèles ;
- évaluer les impacts écologiques, matériels, économiques et sociaux de ces extrêmes climatiques, et analyser comment ils ont motivé l'adoption de politiques de prévention et d'assistance *a posteriori* ;
- créer un modèle du coût des grands événements extrêmes, dont l'utilisation pourrait permettre d'améliorer l'évaluation des dommages futurs, dans l'hypothèse d'un renforcement de leur fréquence et de leur amplitude.

Dès son origine, le projet RENASEC affichait un objectif interdisciplinaire en regroupant des historiens, des climatologues et des économistes qui ont tenté d'appréhender et de caractériser les événements climatiques qui se sont succédés en France depuis le XVI^{ème} siècle. Ce choix répondait, en 2009, à des attentes de plus en plus fortes de la part de la communauté des climatologues dont les modélisations laissaient supposer que les événements extrêmes seraient à la fois plus fréquents et plus violents dans les prochaines décennies. Or, les archives, si elles mesurent de manière relative (voire arbitraire) les fluctuations du climat, consignent très précisément la mémoire des catastrophes climatiques des 500 dernières années. De facto, pour l'historien, la « catastrophe » est la dimension sociale de « l'extrême » du climatologue. En conséquence, il semblait très pertinent de lancer une telle approche sachant que la documentation historique, en dépit de son volume et de sa dispersion, contenait de multiples données textuelles. Cinq espaces d'études ont été retenus qui sont l'ouest et l'est de la France, les régions Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon et l'agglomération parisienne. Les nombreuses informations recueillies durant trois ans dans les fonds d'archives ont été regroupées dans la base de données HISTCLIM. Référencée par l'ONERC, elle permet d'analyser en détail les événements climatiques extrêmes (espaces touchés, évolution de l'intensité du phénomène, fréquence...). En pratique, la principale prise de risque se situait au niveau du dialogue entre les disciplines impliquées au sein du projet. En effet, il s'agissait d'exploiter des données majoritairement textuelles (donc qualitatives) pour les convertir en données quantitatives susceptibles d'être comparées à des données climatiques actuelles ou bien homogénéisées dans des séries récentes.

Les cinq cents ans étudiés révèlent une variabilité temporelle importante des extrêmes climatiques. Dans le cas des tempêtes, certaines périodes apparaissent plus critiques que d'autres et les archives signalent ainsi des années tempétueuses en 1580-1640, 1710-1770 et 1870-1920. Si l'on ne retient que les phénomènes majeurs, quinze événements de forces 10 à 12 sur l'échelle de Beaufort touchent la France. Véritable signal climatique ou non, une

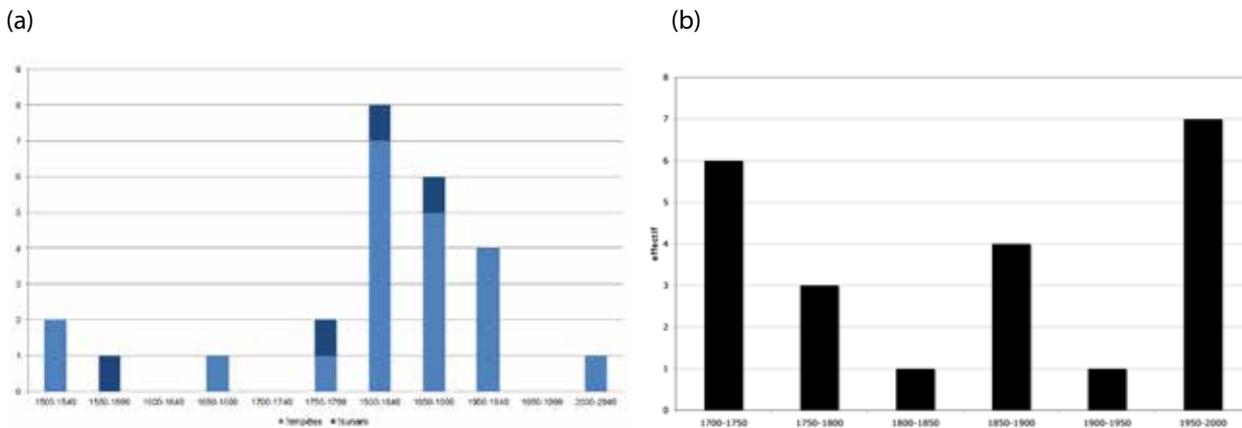


Figure 5 : (a) Fluctuations des tempêtes, violentes tempêtes et ouragans en France entre 1500 et 2010 (événements supérieurs à force 10, échelle de Beaufort); (b) Tempêtes de submersion et tsunamis sur les littoraux de l'Atlantique. Source: E. Garnier.

recrudescence des tempêtes semble apparaître depuis les années 1950 en France métropolitaine (Fig. 5a). De façon surprenante, ce résultat n'est pas en cohérence avec des études climatologiques récentes mais pourrait refléter l'augmentation de la vulnérabilité socio-économique aux aléas météorologiques, traduisant ainsi la dichotomie entre la « catastrophe » socio-économique et « l'extrême » météorologique. Le bilan est tout autre pour les submersions pour lesquelles les résultats historiques accumulés (partiels pour certaines côtes) battent en brèche l'idée selon laquelle la submersion de février 2010 (tempête Xynthia) fut un événement totalement inédit (Fig. 5b). Avec soixante-trois événements répartis sur les littoraux méditerranéen, normand et atlantique, les tempêtes de submersion sont indéniablement des phénomènes de permanence historique. La seconde moitié du XX^{ème} siècle se caractérise par une quasi disparition des événements.

Écho similaire pour les inondations de la Seine pour laquelle soixante-deux inondations ont été recensées (Fig. 6). Contrairement à ce que l'on pourrait croire, ce n'est pas le XX^{ème} siècle mais le XVIII^{ème} siècle qui connaît les plus grand nombre d'inondations (dix-huit événements) entre 1500 et 2011.

Soixante-huit sécheresses ont été recensées en Île-de-France. Elles sont très inégalement réparties chronologiquement entre 1500 et 2011 et correspondent à des niveaux de sévérité très variables (Fig. 7). Trois grandes tendances peuvent être ébauchées depuis le XVI^{ème} siècle. La première est comprise entre 1500 et 1700 et se caractérise par une fréquence soutenue de sécheresses avec en moyenne une sécheresse tous les huit ans. Une rupture nette intervient au XVIII^{ème} siècle qui connaît une hausse très importante du nombre de sécheresses. Les XIX^{ème} et XX^{ème} siècles ne se caractérisent pas par des sécheresses plus fréquentes, bien que le petit âge glaciaire s'estompe à compter des années 1850. Néanmoins, le XX^{ème} siècle accuse une réelle recrudescence, sans qu'il soit possible d'observer un tournant à partir de 1950.

Outre la reconstruction de séries chronologiques longues et de leur intensité, RENASEC souhaitait également aborder la question des vulnérabilités et des stratégies élaborées (ou non) par les sociétés anciennes. Définie dès le XVII^{ème} siècle dans les dictionnaires, la vulnérabilité désigne alors ce qui est exposé, autrement dit les biens et les personnes, et qui est susceptible d'être endommagé par un aléa

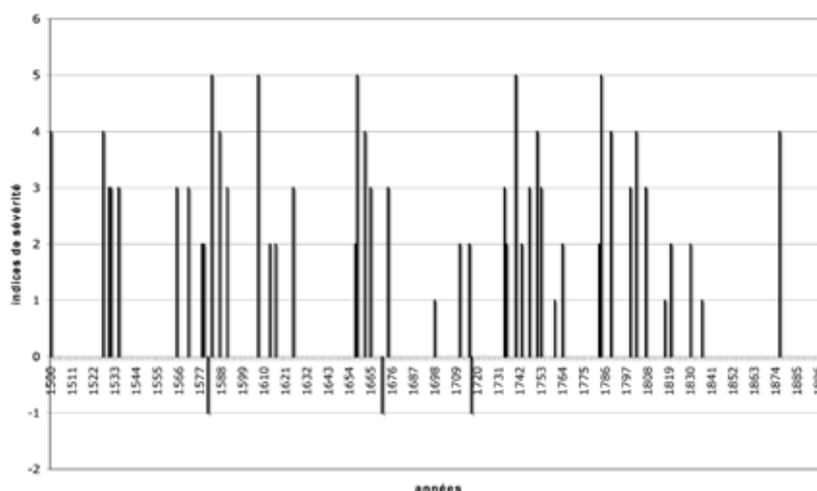


Figure 6 : Les inondations de la Seine 1500-1900. Source: E. Garnier.

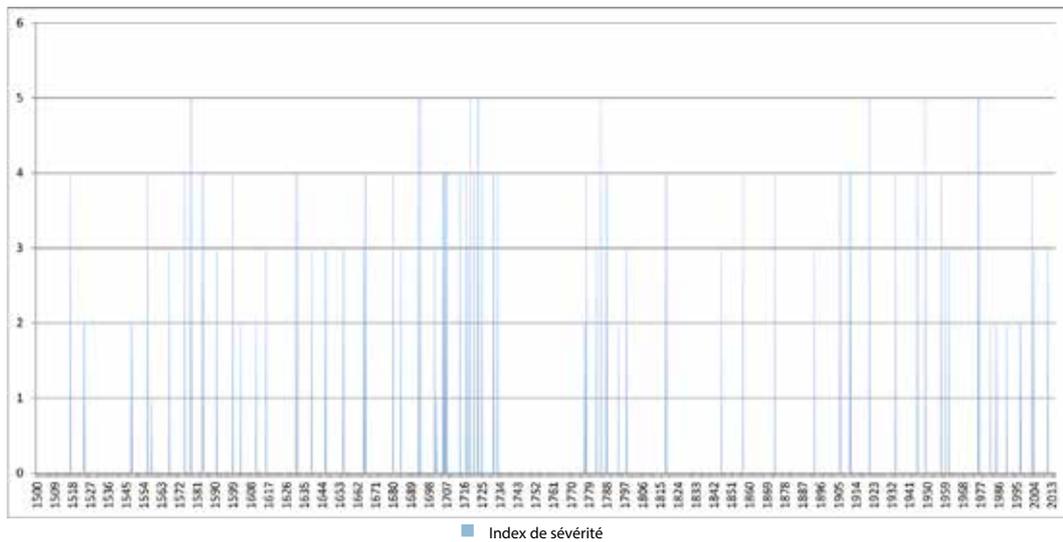


Figure 7 : Chronologie et sévérité des sécheresses en France (Nord de la Loire) entre 1500 and 2014.
Source: E. Garnier.

climatique. Une telle perspective découlait donc logiquement de la méthode d'évaluation élaborée précédemment pour reconstruire des séries puisque le contenu des archives abordait prioritairement les dommages, leur montant et les réactions sociales (religion, gouvernances, mouvements sociaux). Un des objectifs du projet, l'évaluation du coût des événements extrêmes historiques dans un contexte actuel n'a pu être atteint, faute de temps. Cet aspect n'a été développé qu'ultérieurement dans le cadre d'autres projets (toujours en cours) avec la Caisse Centrale de Réassurance qui a impliqué fortement ses économistes et modélisateurs.

En revanche, l'approche sociale a montré que ces événements du passé étaient autant de « retours d'expérience » à même de participer activement aux réflexions en cours sur l'adaptation et la résilience. Les effets destructeurs des événements extrêmes du passé montrent qu'ils pouvaient impliquer un bouleversement radical de l'équilibre social, économique et culturel et que loin d'être fatalistes, les sociétés rurale, urbaine ou encore littorale étudiées dans le cadre de RENASEC, élaborèrent des outils et des systèmes à même de leur offrir une meilleure résilience face aux « dérangements du temps ». Les témoignages accumulés dans différentes régions de France montrent, en effet, que les systèmes sociaux résistèrent de diverses manières : par des délimitations visuelles (borne, repères, poteaux) des territoires vulnérables, par la reconnaissance des zones de sécurité de « mémoire d'homme », par la construction de territoires plus adaptés au contexte climatique du moment (bocages, marais, etc) et enfin par la mise en place de gouvernances originales fondées sur l'intervention publique et la solidarité. Malheureusement, la raréfaction et l'urbanisation de la France depuis une cinquantaine d'années ont contribué à une « rupture mémorielle » qui explique très probablement le sentiment de « nouveauté » face à l'ampleur des catastrophes récentes (Xynthia 2010).

A l'heure de la conférence internationale sur le Climat de Paris, et plus que les prévisions climatiques modélisées souvent mal comprises du grand public, c'est bien la question des mesures d'adaptation et de leur faisabilité à l'échelle locale qui provoquera ou non l'adhésion des citoyens. Dans cette perspective, l'éclairage historique légitime la sauvegarde d'une culture de la « conservation » qui doit être considérée comme autant de retours d'expériences à même de mieux préparer nos concitoyens à affronter le climat d'aujourd'hui et de demain.

QUELLES ÉCHELLES SPATIALES ET TEMPORELLES ? (MORCEMED)

Le système climatique couvre une large gamme d'échelles spatiales et temporelles qui interagissent entre elles d'une manière complètement chaotique et non linéaire et produisent de temps à autre des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. L'étude de leur évolution dans un contexte de changement climatique repose en grande partie sur les modèles du climat global appelés aussi les modèles de circulation générale qui sont des outils fondamentaux pour la compréhension du climat (voir encadré). Malgré la résolution grossière de ces modèles globaux, de 100 à 400 km, ils sont capables de simuler les grandes tendances régionales de l'évolution du climat. Par exemple, dans le quatrième rapport du GIEC, les simulations produites par vingt modèles globaux sur la base de trois scénarios d'émissions ont été utilisées pour produire un indicateur du changement climatique régional et identifier les "hot-spot" pour le changement climatique (Giorgi, 2006). Le concept de "hot-spot" peut être défini du point de vue de la vulnérabilité ou de la réponse climatique. Dans le premier cas, il identifie une région où les impacts éventuels du changement climatique sur l'environnement ou sur différents secteurs d'activité peuvent être particulièrement prononcés. Dans le deuxième cas, il identifie une région dont le climat est particulièrement sensible aux changements globaux. Ainsi, les deux "hot-spot" les plus marqués sont la région Méditerranée et l'Europe de l'Est. Par

La modélisation numérique du climat, de l'échelle globale à l'échelle régionale

Un modèle climatique est la représentation numérique de la planète et des interactions entre ses différents réservoirs qui modulent le climat: l'atmosphère, l'océan et les surfaces continentales. L'espace géographique numérique est composé de cases, appelées les mailles. Les interactions entre mailles sont modélisées par un certain nombre d'équations mathématiques. Ces équations traduisent la conservation de diverses quantités physiques (masse, énergie, quantité de mouvement). Plus la maille est petite, plus le modèle est précis. Les phénomènes météorologiques d'échelle inférieure à la maille sont représentés de façon paramétrique dans les équations de conservation. Un modèle climatique cherche à approcher le plus possible la réalité, il essaie de représenter au mieux les forces qui induisent les mouvements atmosphériques, océaniques ou terrestres. Pour cela, le modèle part de conditions initiales connues des paramètres climatiques tels que la température, le rayonnement, l'humidité... et les fait évoluer en résolvant les équations mathématiques. Le modèle climatique peut couvrir l'ensemble du globe, avec pour contrepartie l'utilisation de mailles de taille relativement grossière (>100 km) ou uniquement une région avec comme avantage l'utilisation de mailles de fine taille (<20 km). Dans le premier cas, il s'agit d'un modèle de climat global ou modèle de circulation générale. Dans le second cas, il s'agit d'un modèle de climat régional. Conceptuellement, ces modèles sont identiques aux modèles de prévision du temps. Seul leur usage particulier les différencie. Lorsqu'un de climat régional sert à raffiner spatialement les simulations issues d'un modèle de climat global, on parle alors de *désagrégation dynamique*.

exemple, la région Méditerranée est dominée par un réchauffement significatif, une forte diminution des précipitations moyennes annuelles et une augmentation de la variabilité des précipitations pendant la saison chaude et sèche, traduisant une augmentation de la probabilité d'occurrence d'événements propices aux inondations et aux sécheresses.

Cependant, la résolution grossière des modèles globaux limite la représentation adéquate de certains processus climatiques, en particulier les processus hydrologiques, tels que les précipitations. La figure 8 illustre cette problématique. Elle montre le relief de la région méditerranéenne, dont l'altitude est exprimée en mètres, représenté à gauche dans un modèle climatique global avec une résolution horizontale

d'environ 300 km. Si l'on peut identifier les plus grands massifs méditerranéens (les Alpes, l'Atlas, les montagnes d'Anatolie), ils n'en demeurent pas moins très grossièrement représentés et il est impossible de distinguer leurs contours, ainsi que les plus petits massifs. De plus, le contour même de la mer Méditerranée est difficilement reconnaissable.

Cette représentation trop grossière du relief, des côtes mais aussi de l'occupation des sols limite les études des événements extrêmes, les études d'impact et de stratégies d'adaptation associées aux changements climatiques. Or produire de l'information à l'échelle régionale est indispensable car l'adaptation aux changements repose en grande partie sur les initiatives locales. Cette démarche nécessite des résolutions beaucoup plus fines autour de 10 km.

Des méthodes de désagrégation spatiale sont nécessaires pour produire de l'information climatique suffisamment résolue pour pouvoir étudier ces événements extrêmes. Cette information

peut être fournie par les modèles du climat régional, le plus souvent à aire limitée, centrés sur une région donnée et pilotés aux bords par les sorties des modèles du climat global (voir encadré). Ces modèles régionaux, comme les modèles globaux, résolvent les équations de la mécanique et de la physique mais à des résolutions spatiales de l'ordre de 10 km, ce qui permet de prendre en compte de façon beaucoup plus précise la description du relief et de l'occupation des sols. Dans le cadre du projet MORCE-MED, des travaux novateurs ont été conduits pour s'assurer de la bonne cohérence dynamique entre l'information de grande échelle fournie par le modèle global et celle produite à fine échelle par le modèle régional (Omrani et al., 2012a,b, 2013, 2015).

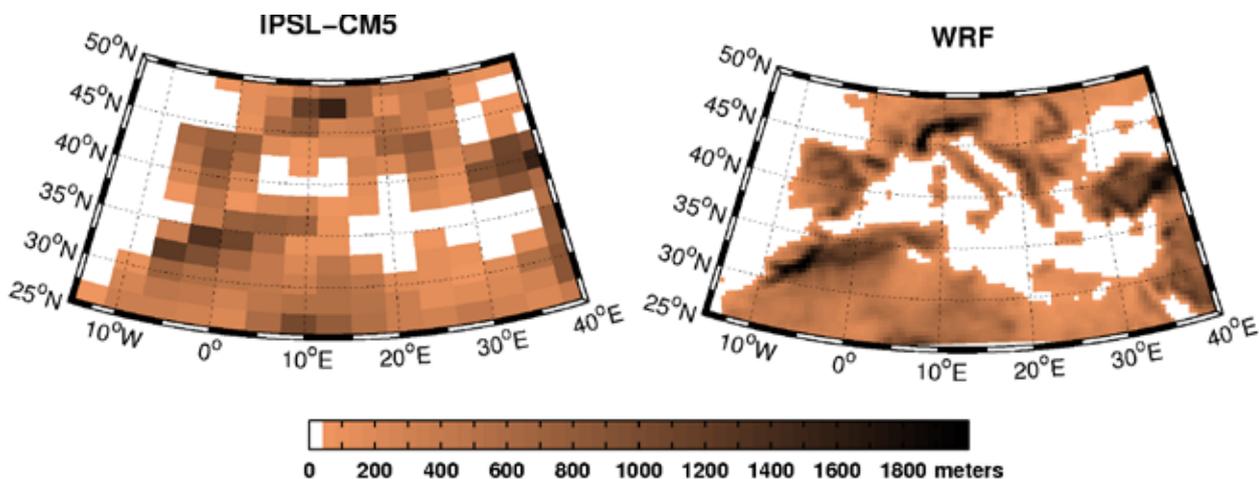


Fig. 8 : Relief de la région méditerranéenne telle que représenté dans un modèle climatique global (gauche) et dans un modèle climatique régional (droite). L'altitude est exprimée en mètres. Source: Flaounas et al. (2013).

Pour en savoir plus: Les méthodes statistiques de désagrégation spatiale

Classiquement, les méthodes de désagrégation sont rangées en deux classes: la *désagrégation statistique* et la *désagrégation dynamique*. A ces deux méthodes s'ajoutent des méthodes hybrides. Contrairement à la *désagrégation dynamique* qui s'appuie exclusivement sur la résolution mathématique des équations physiques régissant le système climatique, la *désagrégation statistique* repose sur une très grande variété de modèles statistiques nécessitant une étape d'étalonnage. Alimentées par des données atmosphériques faiblement résolues spatialement (température, vent, pression, précipitations...), les modèles statistiques permettant de produire des données finement résolues spatialement peuvent être des fonctions de transfert (linéaires ou non), de la classification en amont d'approches par analogues ou types de temps, des générateurs stochastiques de données météorologiques ou de la correction de biais par approche de type quantile-quantile. La *désagrégation statistique* est donc un terme réducteur pour couvrir une très large variété de modèles statistiques conceptuellement différents.

Une autre méthode de désagrégation est la méthode statistique qui opère avec un modèle statistique dont les paramètres sont estimés à partir des données observées en des stations de mesures (voir encadré). Cette méthode a l'avantage d'être numériquement peu coûteuse et de fournir des résultats très satisfaisants par rapport à sa complexité. En revanche, la qualité des résultats est directement conditionnée par celle de la base de données observées, et comme la méthode est basée sur des données déjà observées, elle a le désavantage de ne pas pouvoir anticiper des changements climatiques qui n'auraient jamais été observés. Dans le cadre du projet REGYNA, la méthode CDF-t (*Cumulative Distribution Function – Transform*), initialement développée pour la désagrégation locale de la vitesse du vent par Michelangeli et al. (2009), a été appliquée aux précipitations, température et vitesse de vent dans le sud de la France. Cette méthode consiste à générer des fonctions de distributions cumulatives locales à partir de champs à grande échelle fournis par le modèle du climat global. Cette étude par Lavaysse et al. (2012) a permis de modéliser la distribution cumulée des précipitations, de la température et de la vitesse de vent et d'étudier l'évolution des extrêmes dans un contexte de changement climatique. Ces travaux ont été poursuivis de façon conjointe entre les projets MORCE-MED et REGYNA, en explorant la valeur ajoutée d'une désagrégation en cascade en appliquant une désagrégation dynamique sur les champs du modèle du climat global puis une désagrégation statistique sur les champs raffinés du modèle du climat régional. Vrac et al. (2012) ont ainsi pu montrer que, par rapport à une désagrégation statistique seule avec CDF-t, la méthode CDF-t appliquée aux sorties du modèle régional améliore la structure spatiale des champs désagrégés. Ils ont aussi montré que cette double désagrégation généralement améliore la modélisation des fonctions de distributions cumulées et donc les extrêmes de précipitations, température et vitesse de vent.

COMMENT ÉVALUER LE RÔLE DES PROCESSUS COUPLÉS DANS LA DYNAMIQUE DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES ? (MORCEMED – MEDICCBIO – HUMBOLDT)

Dans le cadre des projets MORCE-MED et MEDICCBIO, le développement d'une plateforme générique de modélisation régionale couplée (voir encadré), couplant les modèles régionaux dans les différents compartiments (océan, atmosphère, continent) a été réalisée pour mieux comprendre d'une part le rôle des processus d'interaction biosphère-atmosphère dans la dynamique des canicules en Europe de l'Ouest et d'autre part le rôle des processus d'interaction océan-atmosphère dans la formation des précipitations extrêmes dans les pays riverains de la Méditerranée nord-occidentale (Drobinski et al., 2012).

L'étude des interactions océan/atmosphère a porté en particulier sur les situations de vent fort et leur impact sur le bilan thermique de la couche mélangée océanique, la convection océanique et la rétroaction sur la dynamique de la l'atmosphère (Lebeaupin-Brossier et Drobinski, 2009 ; Lebeaupin-Brossier et al., 2011, 2012a,b, 2013, 2015). Dans Lebeaupin-Brossier et al. (2013), le rôle possible de la circulation océanique dans la «connexion» d'un fort mistral en Méditerranée nord-occidentale avec un événement de précipitations intenses dans le sud de la France en Novembre 1999 a été analysé. Ces deux événements sont tous deux contrôlés par d'intenses échanges air-mer et sont séparés d'une semaine. D'un point de vue atmosphérique, ces deux événements peuvent être considérés comme totalement non corrélés et indépendants. En utilisant la plateforme de modélisation régionale couplée modèle, il a été montré que la circulation océanique cyclonique est un élément clé, qui peut piéger des perturbations importantes de température de la mer sur plusieurs jours. Dans la situation étudiée, le mistral induit un rapide refroidissement de la température de surface de la mer dans le Golfe du Lion et une forte évaporation du fait du vent fort. Ce refroidissement est bien représenté dans le modèle couplé comme le montre la figure 9.

Cette anomalie froide est prise au piège dans le tourbillon cyclonique dans le Golfe du Lion et perdure sur plus d'une semaine. Cela affecte directement l'événement de précipitations intenses suivant (12-13 Novembre 1999) avec moins d'énergie fournie à l'emplacement de l'anomalie froide et plus d'évaporation près de la côte, modulant ainsi la localisation et les quantités de précipitations sur les terres (Fig. 10). Ces simulations mettent en évidence le rôle clé de la circulation océanique générale, et en particulier de la dynamique du tourbillon cyclonique dans le Golfe du Lion sur la mémoire de l'océan dans la zone. L'océan maintient l'anomalie de température sur des périodes typiques de quelques jours, permettant un lien indirect entre les deux systèmes météorologiques pour lesquels les interactions air-mer sont importantes. Ces travaux ont été généralisés à l'ensemble des précipitations extrêmes simulées sur vingt ans par Berthou et al. (2014, 2015) et sur des cas documentés dans le cadre du projet HyMeX d'étude du cycle de l'eau en Méditerranée (Drobinski et al., 2014).

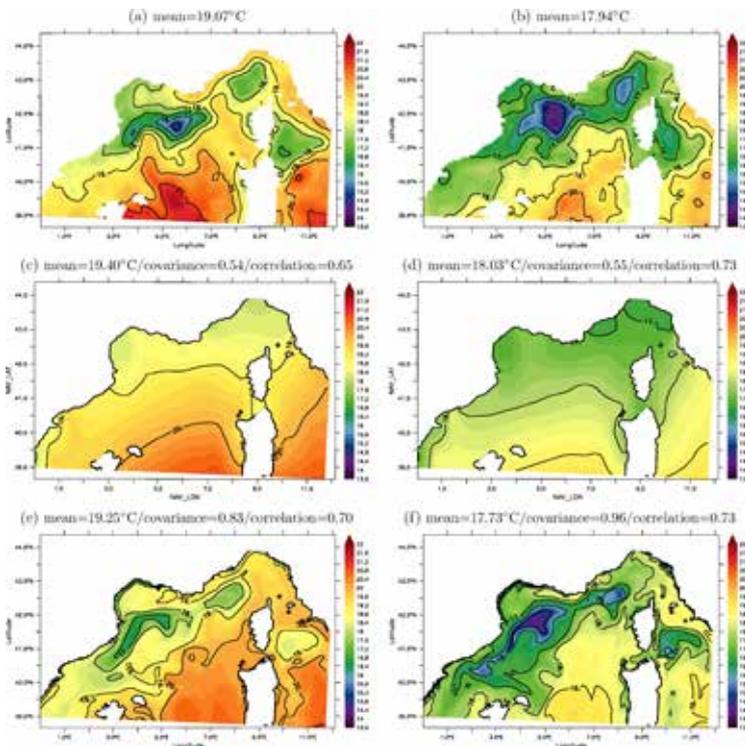


Figure 9: Champs de température de surface de la mer (°C) en Méditerranée nord-occidentale le 5 novembre 1999 (colonne de gauche) et le 12 novembre 1999 (colonne de droite) issus des observations satellite (AVHRR, haut), d'une simulation n'intégrant pas les effets couplés océan/atmosphère (milieu) et de la simulation couplée (bas).
Source: Lebeaupin-Brossier et al., (2013).

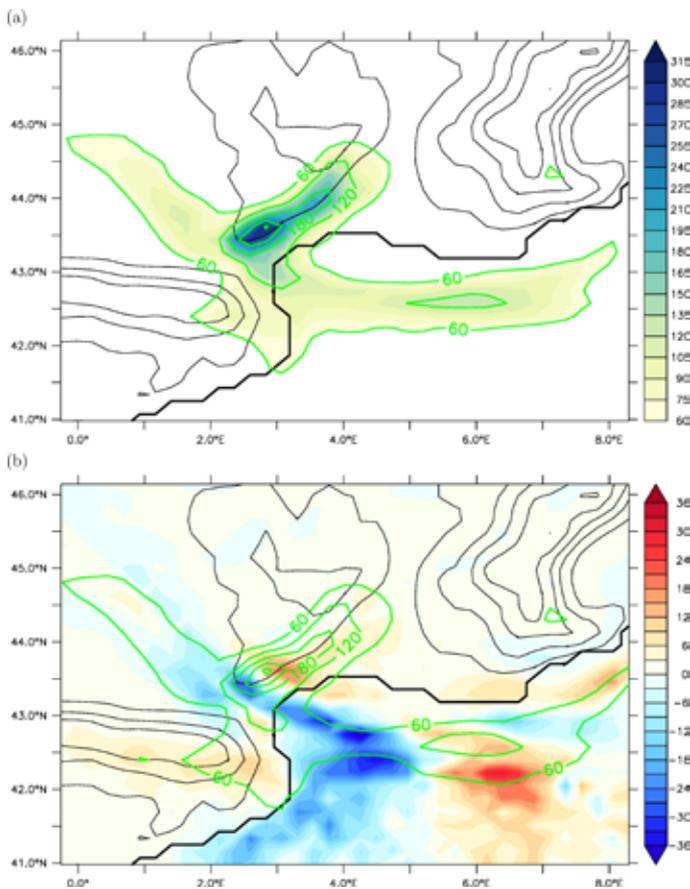


Figure 10: (a) Précipitations cumulées sur 48 h (en mm, entre les 12 et 14 Novembre 1999) de la simulation n'intégrant pas les effets couplés océan/atmosphère (couleur) et de la simulation couplée (contours verts). (b) Différence entre les 2 champs (mm).
Source: Lebeaupin-Brossier et al., (2013).

Dans le cadre du projet MORCE-MED, le rôle des interactions biosphère/atmosphère sur l'amplitude d'épisodes caniculaires a été analysé. Le lien avec l'humidité de sols a été étudié par Stéfanon et al. (2014a). Les études les plus originales ont porté sur l'impact de la végétation sur l'amplitude des canicules. Il a tout d'abord été montré qu'inclure une végétation interactive dans un modèle atmosphérique régional permettait de simuler les modifications du cycle phénologique qui contrôle le développement de la végétation et l'évapotranspiration. Appliquée aux canicules de juin et août 2003, Stéfanon et al. (2012b) ont montré que la prise en compte d'une végétation interactive atténuait l'amplitude de la canicule de juin et accentuait celle d'août. Une analyse détaillée montre que cette canicule était précédée d'une sécheresse printanière associée à un important déficit de précipitation et de nébulosité. Sous l'effet du rayonnement solaire abondant au printemps, le développement de la végétation s'est fait de façon précoce. En juin 2003, la végétation est donc plus abondante que la normale et contribue à un excès d'évapotranspiration induisant une température de l'air plus faible (Fig. 11a,b). En août l'effet est inversé (Fig. 11c,d). La végétation sous l'effet d'un déficit

trop important d'eau dans le sol, se dessèche et meurt. L'évapotranspiration est alors proche de zéro et le chauffage thermique de l'atmosphère maximum. La prise en compte du fonctionnement de la végétation dans la modélisation couplée et son impact sur le cycle phénologique engendrent des anomalies moyennes de 1 à 2°C (négative durant la canicule de juin 2003 et positive durant la canicule d'août 2003) représentant jusqu'à 15% de l'amplitude totale de l'anomalie de température durant la canicule. Ces effets peuvent avoir des répercussions par exemple sur le confort thermique défini comme "un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique".

Une démarche similaire a été utilisée dans le cadre du projet HUMBOLDT, pour étudier cette fois l'effet des surfaces cultivées (effet d'anthropisation) sur l'amplitude des canicules par rapport à une végétation native. L'année 2003 a été choisie comme une situation « typique » qui pourrait être rencontrée dans un climat plus chaud. L'objectif de l'étude étant de quantifier le rôle de la modification d'usage des sols sur une anomalie de température correspondant au changement climatique. Stéfanon et al. (2014b) montre que l'effet induit par une mise en culture de certains territoires tend à réduire l'anomalie de température en juin et à l'augmenter en août. L'amplitude de cet effet d'anthropisation est compris entre 0,5°C et 1°C donc environ 5 à 8 % de l'anomalie de température durant les canicules de 2003. Le changement de signe de l'anomalie entre juin et août montre qu'élaborer une stratégie d'occupation des sols pour limiter l'amplitude des événements caniculaires n'est pas évident.

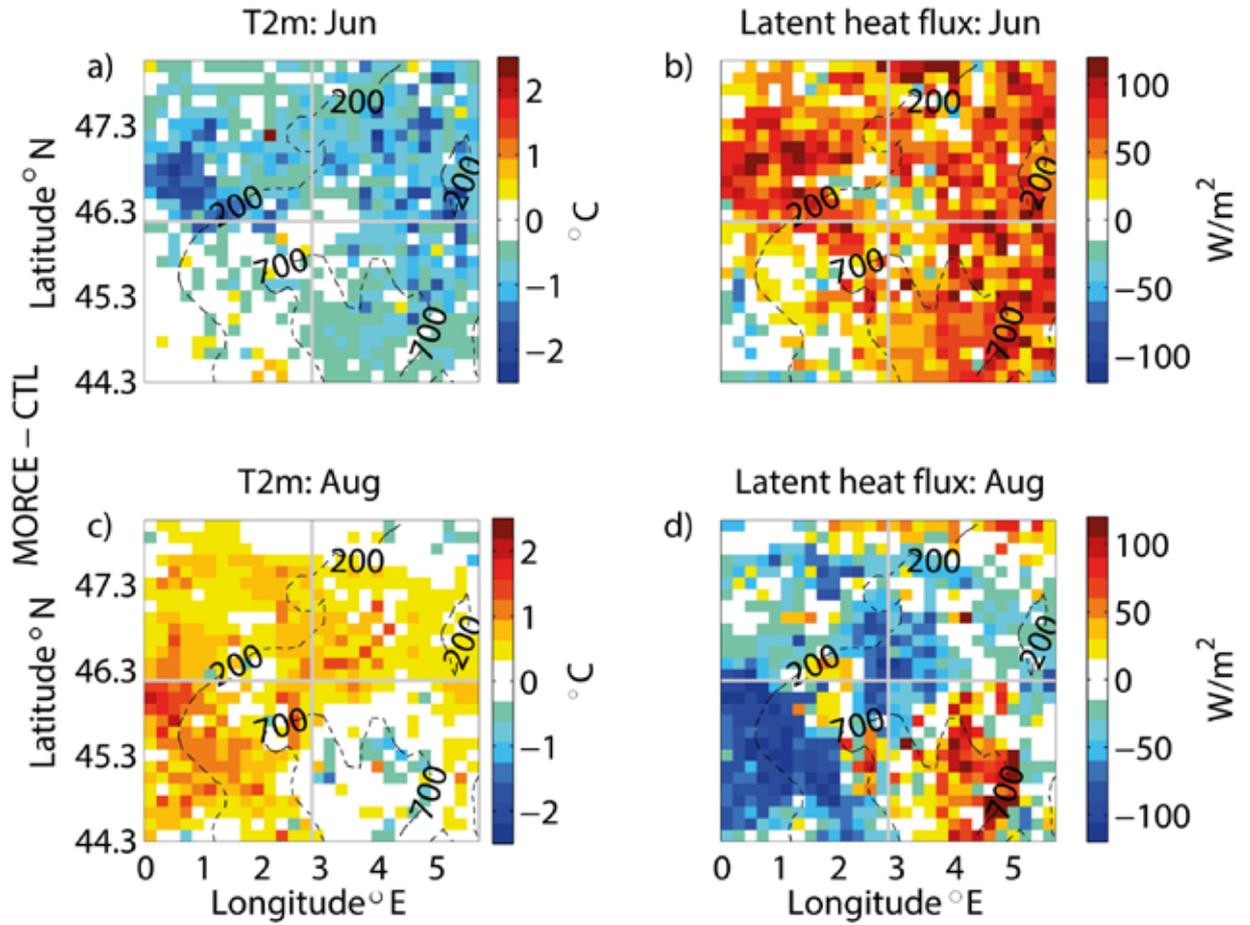


Figure 11 : (a) et (c) Différence de température de l'air entre une simulation avec végétation interactive et une simulation avec végétation climatologique pour la canicule de juin 2003 (a) et la canicule d'août 2003 (c). (b) et (d) Différence d'évaporation entre une simulation avec végétation interactive et une simulation avec végétation climatologique pour la canicule de juin 2003 (b) et la canicule d'août 2003 (d).
Source: Stéfanon et al. (2012b).

La modélisation du système Terre

Le système de la Terre peut être défini comme les composantes physiques, chimiques, biologiques et sociaux, les processus et les interactions qui déterminent ensemble l'état et la dynamique de la Terre, incluant l'ensemble des êtres vivants (faune, flore et humains). Que ce soit à l'échelle globale ou régionale, développer des modèles du système Terre simulant des composantes et processus aussi variés, permet d'améliorer les capacités de modélisation du climat et de mieux comprendre le rôle des processus couplés sur la variabilité et l'évolution du climat. Si les premiers modèles globaux du système Terre ont vu le jour au milieu des années 90 (Claussen et al., 2002), le développement de modèles couplés régionaux est beaucoup plus récent et débute sérieusement au milieu des années 2000 (Drobinski et al., 2012) avec pour objectif de fournir aux organes de décision (politique, économique, social, ...), des informations climatiques régionales pour aider à la planification de l'adaptation. Dans le cadre du projet MORCE-MED, une plateforme générique de modélisation régionale couplée a été développée en assurant l'intégration d'un grand nombre de compartiments (océan, atmosphère, continent) et de processus couplés (processus biochimiques et physiques dans l'atmosphère ou l'océan), la portabilité de la plateforme numérique à différents endroits dans le monde, et l'utilisation des modèles permettant des simulations avec une résolution kilométrique. Cette plateforme a largement été utilisée dans le cadre de projet d'étude du climat méditerranéen, et en particulier le programme HyMeX (Hydrological cycle in the Mediterranean Experiment; Drobinski et al., 2014) du méta-programme MISTRALS (Mediterranean Integrated Studies at Regional and Local Scales).

COMMENT DÉTECTER DES TENDANCES DANS LES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES ?

Les travaux conduits dans le projet PEPER ont permis d'avancer sur la détection des changements des événements extrêmes dans un contexte de changement climatique. Cette démarche est un préalable nécessaire pour pouvoir attribuer cette évolution par rapport aux tendances déjà observées et dont l'attribution au changement climatique ne fait plus de doute. Les travaux publiés par Naveau et al. (2014) se concentrent principalement sur de longues séries temporelles de températures extrêmes de la période instrumentale historique mesurées en vingt-quatre stations européennes. Ici, le terme « extrêmes » se réfère à des excès rares des maxima et minima quotidiens. Comme les températures moyennes ont augmenté au cours du siècle dernier, elles peuvent naturellement être détectées comme des extrêmes. Après suppression de la tendance moyenne de réchauffement, l'objectif des travaux reste de déterminer si d'autres changements sont encore détectables dans ces événements extrêmes. L'approche retenue consiste en l'utilisation d'un nouvel estimateur non-paramétrique basé sur la divergence de Kullback-Leibler adapté pour les événements extrêmes. L'approche, étudiée théoriquement et testée numériquement, a été appliquée aux extrêmes saisonniers de maxima et minima quotidienne pour les vingt-quatre stations sélectionnées. L'étude a d'abord mis en évidence des différences géographiques et saisonnières. Pour les maxima quotidiens, peu de stations traduisent un changement significatif durant la période estivale. En revanche, l'hiver semble avoir subi une évolution importante des extrêmes durant le siècle dernier. Ce comportement est aussi observable pour le printemps mais avec une amplitude moindre. Les minima quotidiens semblent suivre une tendance opposée. L'été et l'automne reflètent des changements importants et détectables des extrêmes.

AU DELÀ DU GIS CLIMAT-ENVIRONNEMENT-SOCIÉTÉ

La collaboration interdisciplinaire au sein du GIS Climat-Environnement-Société a permis une offre de partenariat attractive pour plusieurs projets sur les événements extrêmes et leur évolution dans la perspective du changement climatique. L'idée directrice est que chaque événement extrême susceptible d'être lié avec le changement climatique est un laboratoire d'expériences potentiel pour comprendre comment le changement climatique se profile et comment s'y préparer. Chaque événement a une dimension pédagogique. Par exemple, suite à la canicule de 2003, des mesures de prévention, et finalement d'adaptation ont été mises en place pour faire face aux vagues de chaleur et aux grands épisodes de pollution qui s'y associent. Ainsi, il est intéressant

de pouvoir étudier chaque événement extrême, d'en comprendre les mécanismes et les impacts, de collecter les observations s'y rapportant, de comprendre comment l'événement se situe dans le cadre du changement climatique et si l'on peut l'attribuer en partie aux changements en cours d'origine anthropique ou encore si le phénomène préfigure le futur. Dans le cadre des projets pré-opérationnels du programme FP7 Space (Copernicus), concernant l'interprétation et l'attribution des événements extrêmes, deux équipes du GIS Climat (CEARC et LSCE) ont apporté au consortium EUCLEIA (*EUropean weather and CLimate Events Interpretation and Attribution*), mené par le U.K. Met. Office, une approche novatrice sur les méthodes d'attribution et la dynamique des événements extrêmes et sur la représentation de ces événements pour la société. Les objectifs d'EUCLEIA sont de préfigurer à terme un service opérationnel d'attribution des événements extrêmes pour les médias, les décideurs et les assurances. Dans un cadre national, le projet EXTREMOSCOPE, financé par le MEDDE, partenariat entre l'IPSL et Météo-France a pour objectifs de préfigurer également un service d'interprétation et d'attribution des événements extrêmes en partant des phénomènes rencontrés, et en exploitant leur dimension pédagogique. Ce projet a pu, en 2014, s'intéresser aux événements de l'hiver 2013-2014 et aux pluies méditerranéennes de l'automne 2014.

PERSPECTIVES

Si ces travaux essayés par le GIS Climat ont déjà été initiés, d'autres axes de travail restent à développer listés de façon non-exhaustive et non priorisés. Il s'agit d'une part de poursuivre les travaux sur la détection de l'évolution des événements extrêmes dans un contexte de changement climatique. Cela nécessite d'exploiter des jeux de données homogènes collectées sur de longues périodes de temps. Ces jeux de données commencent à voir le jour et permettent maintenant d'élaborer des méthodologies d'analyse spécifique sur les événements extrêmes. C'est un enjeu essentiel dans la perspective d'attribuer ou non ces extrêmes au changement climatique en cours. Un deuxième axe est de diagnostiquer et quantifier les contributions respectives du changement climatique et de changements d'usages des terres passés sur les modifications du climat régional (état moyen, variabilité et extrêmes). Cela suppose l'utilisation de modèles couplés régionaux dans lesquels sont représentés certains anthroposystèmes (barrages, irrigation,...) et leur régulation. Enfin, il devient fondamental de combiner approches *top-down*, qui étudient les impacts locaux des événements extrêmes et *bottom-up* qui étudient les vulnérabilités physiques et socio-économiques de territoires particulièrement exposés aux événements extrêmes pour élaborer des stratégies pertinentes de gestion du risque dans le contexte du changement climatique. Cette problématique

Vulnérabilités d'une zone urbaine côtière en Afrique de l'Ouest

La question des zones vulnérables a fait l'objet d'un atelier de réflexion lors du séminaire de prospective de Seillac en juillet 2009 afin d'en identifier les traits saillants et les concepts qui y sont associés, tels que la pression anthropique, l'habitabilité ou encore la résilience. Ces lieux critiques sont caractérisés par l'urgence de l'élaboration d'actions visant à faire face aux modifications, voire aux ruptures de fonctionnement, que le changement climatique peut déclencher ou accélérer. Les dynamiques de ces éco-anthropo-systèmes se caractérisent par des phénomènes de transition plus ou moins lents (changement climatique, urbanisation, accélération des inégalités sociales et des phénomènes migratoires), de concurrences spatiales à l'interface de systèmes terrestres et maritimes (artificialisation des zones côtières), de diminution des ressources et des conséquences associées (pénurie en eau, perte de sol, raréfaction de ressources hydrologiques, biologiques et pédologiques, désertification) et de problèmes de santé (celle des humains comme celle des écosystèmes).

La compréhension des interactions hommes/milieu de ces zones hypercomplexes requiert des études temporalisées permettant d'identifier, de modéliser et de simuler les dynamiques d'évolution. Lieux d'interface multifonctionnels, ils sont traversés par des conflits d'intérêt énormes, à diverses échelles spatiales et niveaux d'organisation, le plus souvent non coordonnés. L'analyse des effets du changement climatique sur ces milieux agit comme un révélateur à la fois des bouleversements environnementaux qu'ils subissent mais aussi de leurs capacités d'atténuation, de résilience et d'adaptation.

Les régions côtières sont un des exemples emblématiques des zones vulnérables, en raison de la montée du niveau de la mer et de la concentration élevée de leurs populations. Dans le cadre des travaux menés en Afrique de l'Ouest, le GIS Climat a soutenu, en 2010, l'action d'incubation *Évaluation du risque climatique dans le développement des zones côtières ouest africaines* (ERIC, voir fiche projet), dont l'objectif était de construire un outil d'analyse des risques climatiques auxquels font face les zones côtières ouest africaines et de susciter des dynamiques d'observation pérennes pour lutter contre la « vulnérabilisation » de ces zones grâce à la mobilisation de savoirs scientifiques relevant tant des sciences de la nature que des sciences sociales et sanitaires.

Un atelier – co-organisé avec l'IRD et l'université Cheikh Anta-Diop de Dakar – a réuni à Dakar (27-29 octobre 2010) des chercheurs du Sud et du Nord et des acteurs du monde politique pour débattre des risques climatiques et de la vulnérabilité de la Petite-Côte du Sénégal, plus particulièrement la ville de Mbour et son voisinage direct. Pour étudier, selon une vision intégrée, l'évolution de domaines particulièrement exposés (le littoral, l'eau potable, les paysages, l'urbanisation et les pêches), il a été proposé la création d'un Observatoire multidisciplinaire des vulnérabilités et potentialités environnementales et sociales de la Petite-Côte du Sénégal (Voir *Regards croisés sur les enjeux du changement climatique en Afrique de l'Ouest**, p.15-16).

*Téléchargeable: https://www.gisclimat.fr/sites/default/files/GIS_Afrique_Ouest_BD_A5_0.pdf

a été abordée lors du séminaire de Seillac et de l'atelier *Évaluations du risque climatique dans le développement des zones côtières ouest-africaines* (ERIC)¹ qui a rassemblé, à Dakar, des chercheurs de différents horizons (climatologues, géographes, écologues, sociologues...) ainsi que des acteurs locaux (élus, professionnels, associations...). Le but était de débattre des vulnérabilités majeures de la Petite Côte sénégalaise (littoral, eau potable, paysages, urbanisation, pêches) afin d'élaborer collectivement des méthodologies de co-construction de stratégies de gestion des risques et de développement soutenable informées par les connaissances scientifiques (encadré).

L'ensemble de ces axes de recherche nécessite une approche multidisciplinaire renforcée, voire une approche transdisciplinaire permettant la co-construction avec les parties prenantes afin de mieux traiter les enjeux d'adaptation (par exemple dans EUCLEIA).

RÉFÉRENCES

Bernard E., Naveau P., Vrac M., Mestre O., 2013: Clustering of maxima: Spatial dependencies among heavy rainfall in France. *J. Clim.*, 26, 7929-7937

Berthou S., Mailler S., Drobinski P., Arsouze T., Bastin S., Béranger K., Lebeaupin Brossier C., 2014: Prior history of mistral and tramontane winds modulates heavy precipitation events in Southern France. *Tellus*, 66, 24064

Berthou S., Mailler S., Drobinski P., Arsouze T., Bastin S., Béranger K., Lebeaupin Brossier C., 2015: Sensitivity of an intense rain event between an atmosphere-only and an atmosphere-ocean coupled model: 19 September 1996. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 141, 258-271

Claussen M., Mysak L. A., Weaver A. J., Crucifix M., Fichetef T., Loutre M.-F., Weber S. L., Alcamo J., Alexeev V. A., Berger A., Calov R., Ganopolski A., Gooose H., Lohmann G., Lunkeit F., Mokhov I. I., Petoukhov V., Stone P., Wang Z., 2002: Earth system models of intermediate complexity: closing the gap in the spectrum of climate system models. *Clim. Dyn.*, 18, 579-586

Lavaysse C., Vrac M., Drobinski P., Vischel T., Lengaigne M., 2012: Statistical downscaling of the French Mediterranean climate: Assessment for present and projection in an anthropogenic scenario. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 651-670

Drobinski P., Ducrocq V., Alpert P., Anagnostou E., Béranger K., Borga M., Braud I., Chanzy A., Davolio S., Delrieu G., Estournel C., Filali Boubrahmi N., Font J., Grubisic V., Gualdi S., Homar V., Ivancan-Picek B., Kottmeier C., Kotroni V., Lagouvardos K., Lionello

¹ Regards croisés sur les enjeux du changement climatique en Afrique de l'Ouest (http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/GIS_Afrique_Ouest_BD_A5_0.pdf).

P., Llasat M.C., Ludwig W., Lutoff C., Mariotti A., Richard E., Romero R., Rotunno R., Roussot O., Ruin I., Somot S., Taupier-Letage I., Tintore J., Uijlenhoet R., Wernli H., 2014: HyMeX, a 10-year multidisciplinary program on the Mediterranean water cycle. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 95, 1063-1082

Drobinski P., Anav A., Lebeaupin Brossier C., Samson G., Stéfanon M., Bastin S., Baklouti M., Béranger K., Beuvier J., Bourdallé-Badie R., Coquart L., D'Andrea F., De Noblet-Ducoudré N., Diaz F., Dutay J.C., Ethe C., Foujols M.A., Khvorostyanov D., Madec G., Mancip M., Masson S., Menut L., Palmieri J., Polcher J., Turquety S., Valcke S., Viovy N., 2012: Modelling the regional coupled earth system (MORCE): Application to process and climate studies in vulnerable regions. *Env. Modelling and Software*, 35, 1-18

Flaounas E., Drobinski P., Bastin S., 2013: Dynamical downscaling of IPSL-CM5 CMIP5 historical simulations over the Mediterranean: Benefits on the representation of regional surface winds and cyclogenesis. *Clim. Dyn.*, 40, 2497-2513

Garnier E., A historic experience for a strengthened resilience. European societies in front of hydrometeors 16th-20th centuries, in Quevauviller P. (eds.), *Prevention of hydrometeorological extreme events-Interfacing sciences and policies*, Chichester, John Wiley & Sons, vol 1, 2014, p.3-26.

GIEC, 2012 : Résumé à l'intention des décideurs. In: Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique [sous la direction de Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor et P.M. Midgley]. Rapport spécial des Groupes de travail I et II du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique, pp. 1 à 20

GIEC, 2013 : Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique

Giorgi F., 2006 : Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734

Lavaysse C., Vrac M., Drobinski P., Vischel T., Lengaigne M., 2012: Statistical downscaling of the French Mediterranean climate: Assessment for present and projection in an anthropogenic scenario. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 651-670

Lebeaupin Brossier C., Drobinski P., 2009: Numerical high-resolution air-sea coupling over the Gulf of Lions during two tramontane/mistral events. *J. Geophys. Res.*, 114, D10110, doi:10.1029/2008JD011601.

Lebeaupin Brossier C., Béranger K., Deltel C., Drobinski P., 2011: The Mediterranean response to different space-time resolution atmospheric forcings using perpetual mode sensitivity simulations. *Ocean Modelling*, 36, 1-25

Lebeaupin Brossier C., Béranger K., Drobinski P., 2012: Sensitivity of the North-Western Mediterranean coastal and thermohaline circulations as simulated by the 1/12° resolution oceanic model NEMO-MED12 to the space-time resolution of the atmospheric forcing. *Ocean Modelling*, 43-44, 94-107

Lebeaupin Brossier C., Béranger K., Drobinski P., 2012: Ocean response to strong precipitation events in the Gulf of Lions (North-Western Mediterranean Sea): A sensitivity study. *Ocean Dyn.*, 62, 213-226

Lebeaupin Brossier C., Drobinski P., Béranger K., Bastin S., Orain F., 2013: Ocean memory effect on the dynamics of coastal heavy precipitation preceded by a mistral event in the North-Western Mediterranean. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 139, 1583-1597

Lebeaupin Brossier C., Bastin S., Béranger K., Drobinski P., 2015: Regional mesoscale air-sea coupling impacts and extreme meteorological events role on the Mediterranean Sea water budget. *Clim. Dyn.*, 44, 1029-1051

Michelangeli P.A., Vrac M., Loukos H., 2009: Probabilistic downscaling approaches: application to wind cumulative distribution functions. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L11708, doi:10.1029/2009GL038401

Naveau P., Guillou A., Rietsch T., 2014: A non-parametric entropy-based approach to detect changes in climate extremes. *J. R. Statist. Soc. B*, 76, Part 5, 861-884

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2015: Using nudging to improve global-regional dynamic consistency in limited-area climate modeling: What should we nudge? *Clim. Dyn.*, 44, 1627-1644

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2013: Optimal nudging strategies in regional climate modelling: Investigation in a Big-Brother Experiment over the European and Mediterranean regions. *Clim. Dyn.*, 41, 2451-2470

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2012: Spectral nudging in regional climate modelling: How strongly should we nudge? *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 138, 1808-1813

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2012: Investigation of indiscriminate nudging and predictability in

a nested quasi-geostrophic model. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 138, 158-169

Plaut G., Simonnet S., 2001: Large scale circulation classification, weather regimes, and local climate over France, the Alps and Western Europe. *Clim. Res.*, 17, 303-324

Rietsch T., Naveau P., Gilardi N., Guillou A., 2013. Network design for heavy rainfall analysis. *J. Geophys. Res.*, 118, 13075-13086

Simonnet E., Plaut G., 2001: Space-time analysis of geopotential height and SLP, intraseasonal oscillations, weather regimes, and local climates over the North Atlantic and Europe. *Clim. Res.*, 17, 325-342

Stéfanon M., D'Andrea F., Drobinski P., 2012a: Heatwave classification over Europe and the Mediterranean region. *Env. Res. Lett.*, 7, doi:10.1088/1748-9326/7/1/014023

Stéfanon M., Drobinski P., D'Andrea F., de Noblet-Ducoudré N., 2012b: Effects of interactive vegetation phenology on the 2003 summer heatwaves. *J. Geophys. Res.*, 117, D24103, doi:10.1029/2012JD018187

Stéfanon M., Drobinski P., D'Andrea F., Lebeaupin-Brossier C., Bastin S., 2014a: Soil moisture-temperature feedbacks at meso-scale during heat waves over Western Europe. *Clim. Dyn.*, 42, 1309-1324

Stéfanon M., Schindler S., Drobinski P., de Noblet-Ducoudré N., D'Andrea F., 2014b: Impact of anthropogenic land cover change on warm temperature extremes : the summer 2003 heatwaves as a testbed. *Clim. Res.*, 60, 133-146

Vrac M., Drobinski P., Merlo A., Herrmann M., Lavaysse C., Li L., Somot S., 2012: Dynamical and Statistical Downscaling of the French Mediterranean Climate: Uncertainty Assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2769-2784

Écosystèmes et ressources en eau : impacts, adaptation et atténuation

Coordinateur : P. Leadley (HUMBOLDT)

Contributeurs : S. Bastin (MED-ICCBIO)
C. Chenu (CARBOSOIL)
C. Damesin (AFOCLIM)
V. Daux (AFOCLIM)
P. Drobinski (HUMBOLDT)
J.-C. Dutay (MED-ICCBIO)
V. Masson-Delmotte (PLUIES-TIBET)
C. Pacteau (CCTV2)
A. Sourdril (CCTV2)
M. Stéfanon (HUMBOLDT)
B. Sultan (REGYNA)
C. Valentin (PASTEK)

Écosystèmes et ressources en eau : impacts, adaptation et atténuation

INTRODUCTION

Le dernier rapport du GIEC a mis en évidence d'importants impacts du changement climatique sur les écosystèmes terrestres, d'eau douce et marins, d'autant plus que le réchauffement climatique dépasse 2° C. D'après les prévisions, dans la plupart des cas, des stratégies d'adaptation bien conçues peuvent réduire, mais pas enrayer les impacts exercés sur de nombreux systèmes. En outre, il apparaît de plus en plus clairement que la gestion des écosystèmes peut jouer un rôle important dans l'atténuation des changements climatiques à l'échelle mondiale à travers l'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) et à l'échelle locale et régionale, par le biais des rétroactions physiques (par exemple, l'albédo, le transfert de chaleur latente, etc...). Le rapport du GIEC souligne, cependant, que la façon dont la biodiversité, les écosystèmes et l'hydrologie peuvent répondre aux changements climatiques à venir reste très entachée d'incertitudes qu'il est par conséquent urgent de comprendre et, si possible, de réduire.

Le GIS Climat-Environnement-Société (GIS Climat) a soutenu de nombreux projets axés sur les interactions entre le changement climatique, la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes et l'hydrologie. Principalement centrés sur les impacts du changement climatique, plusieurs parmi ces projets portaient également sur les stratégies d'adaptation ou d'atténuation. Ils ont grandement contribué à une meilleure compréhension de plusieurs composantes de l'incertitude. Ils ont également permis de développer notre capacité à comprendre et à prédire les impacts du changement climatique sur la croissance et la répartition spatiale des organismes, ainsi que sur le fonctionnement des écosystèmes cultivés et semi-naturels. Tous les projets ont inclus d'ambitieux collectes et analyses de données permettant de mieux comprendre le fonctionnement actuel des organismes et des écosystèmes. La plupart des études ont utilisé des modèles permettant de synthétiser ces informations et d'effectuer des prévisions d'impacts du changement climatique. Dans certains cas, les résultats de ces projets ont été et seront utilisés dans le cadre du dialogue avec les décideurs au sujet de la gestion des écosystèmes.

DESCENTE D'ÉCHELLE POUR LES BESOINS D'ÉTUDES D'IMPACT CLIMATIQUE : AVANTAGES ET LIMITES ?

La descente d'échelle permet d'obtenir une information climatique à l'échelle régionale à partir d'informations obtenues à plus grande échelle. Elle est devenue l'un des principaux objectifs des études sur le changement climatique et ses impacts. En effet, les exercices de descente d'échelle pour les besoins d'études d'impact ont mobilisé d'importants investissements en ressources humaines et financières (par exemple, le projet européen ENSEMBLES, le programme CORDEX International). Cette situation résulte d'une forte demande émanant des parties prenantes aux niveaux local et national qui, dans le cadre du processus de prise de décision, souhaitent disposer des prévisions d'impacts du changement climatique à des échelles spatiales plus pertinentes. En outre, plusieurs études laissent entendre que les projections des futurs impacts du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes peuvent être trompeuses en cas d'utilisation des modèles

Messages clés

Trois principaux messages concernant la descente d'échelle ressortent des études menées dans le cadre des projets GIS Climat :

- Une plus haute résolution spatiale des facteurs climatiques peut améliorer la modélisation des réponses des écosystèmes au climat et au changement climatique, plus particulièrement dans les zones de forts gradients climatiques (par exemple, les distributions d'arbres dans les montagnes), ou dans les zones où les caractéristiques climatiques régionales ne sont pas bien représentées dans les modèles climatiques globaux (par exemple, l'effet des moussons sur la production agricole en Afrique de l'Ouest).
- Toutefois, la descente d'échelle concernant le climat et les impacts climatiques contribue à augmenter de façon substantielle l'incertitude et la complexité des études d'impact. Les différentes méthodes de descente d'échelle donnent lieu à des différences de conditions climatiques à plus haute résolution qui sont suffisamment importantes pour générer une gamme très étendue de prévisions d'impacts sur les écosystèmes. En tant que telles, i) les méthodes de descente d'échelle doivent être rigoureusement mises à l'essai pour chaque région étudiée, ii) l'incertitude devrait être évaluée en comparant plusieurs méthodes de descente d'échelle, iii) concernant les études d'impact, il est toujours nécessaire de corriger les biais du climat mis à l'échelle régionale, et iv) la descente d'échelle ne devrait pas être évaluée uniquement selon ses critères climatiques, mais également à l'aide des modèles d'impacts afin d'évaluer l'adéquation des scénarios climatiques mis à l'échelle régionale.
- Lors du processus de descente d'échelle, la communication entre les scientifiques du climat et les scientifiques des écosystèmes est insuffisante. Cela conduit à des incompréhensions des limites et des avantages de la descente d'échelle par les deux communautés. Une intensification du dialogue entre les communautés de spécialistes dans le domaine du climat et de l'impact climatique, facilitée grâce au concours du GIS Climat, est essentielle pour tirer le plein bénéfice du processus de descente d'échelle.

climatiques globaux à faible résolution spatiale, en particulier dans les régions où le climat varie considérablement sur de petites distances (par exemple, dans les zones montagneuses, près des côtes, etc.). Dans la pratique, la descente d'échelle implique généralement de recourir soit à des approches statistiques de mise à l'échelle (par exemple, approche en régime de temps) ou aux modèles climatiques régionaux dynamiques pour simuler un climat de plus haute résolution (environ 10 à 20 km de résolution) qu'il n'est possible de réaliser qu'avec les modèles climatiques globaux (une résolution d'environ 100 à 200 km). Malgré un intérêt considérable pour la descente d'échelle climatique, les avantages et les inconvénients de cette méthode, pour les études d'impacts n'ont pas été suffisamment explorés.

Descente d'échelle dans le but de modéliser les impacts sur l'agriculture en Afrique de l'Ouest et dans la région méditerranéenne (REGYNA)

Le projet REGYNA est axé sur l'élaboration de méthodes de descente d'échelle climatique (aussi appelée « régionalisation » du climat) et s'attache à comprendre les incertitudes associées dans les études d'impact pour trois régions vulnérables. Ce travail porte sur les aspects suivants : i) le développement de nouveaux outils statistiques de descente d'échelle, ii) l'intercomparaison et la validation des méthodes afin d'évaluer les incertitudes et iii) l'évaluation d'impacts des changements climatiques et de leurs incertitudes à l'aide de modèles de cultures (Afrique de l'Ouest et région méditerranéenne) et de modèles hydrologiques (Amérique du Sud).

Outil générique statistique de réduction d'échelle statistique

Une méthode de régionalisation générique a été élaborée sur la base de la classification des régimes de temps à grande échelle et des relations statistiques entre ces régimes de temps et le climat local observé. En supposant que ces relations sont stables dans le temps, ces méthodes peuvent être utilisées pour projeter l'avenir climatique à l'échelle locale sur la base des régimes de temps générés par les modèles globaux. Des outils ont également été élaborés en vue d'évaluer la performance de cette méthode, ainsi que celle d'autres méthodes, en Afrique de l'Ouest (Rust et al. 2010, 2013), dans la région Méditerranée et en Amérique du Sud.

Cultures en Afrique de l'Ouest

Les impacts potentiels du changement climatique sur le rendement des récoltes en Afrique de l'Ouest ont été évalués sur la base d'une méta-analyse de modèles de culture statistiques et mécanistes (Roudier et al. 2011, voir également le rapport WGII 2014 AR5). Ces études laissent entendre que les rendements des cultures sont très vulnérables au changement climatique, en particulier face au changement de température, et qu'en l'absence d'adaptation de la part des agriculteurs, la réponse des rendements des cultures est très hétérogène dans la région mais devrait baisser dans l'ensemble de 11 % au cours des prochaines décennies. D'autres études, utilisant un module nouvellement développé de croissance des cultures au sein du modèle dynamique de végétation ORCHIDEE, ont donné des résultats similaires (Berg et al. 2010, 2011, 2013). Ce travail met en évidence l'importance de la variabilité spatiale et temporelle du climat comme principal facteur déterminant les rendements des cultures, ce qui signifie que l'adaptation au changement climatique dépendra de la compréhension du climat aux échelles spatiales et temporelles fines.

Les impacts du climat, à l'échelle locale, sur les principales cultures – le sorgho, le mil et le maïs – ont fait l'objet d'une étude menée au Sénégal en utilisant neuf jeux de données climatiques régionales issues du projet ENSEMBLES et un modèle de culture mécaniste (SARRA-H) (Oettli et al. 2011, Stéphanon et al. 2013) qui ont été comparés aux changements observés de climat et de cultures. Ainsi Oettli et al (2011) a mis en évidence le fait que les résultats des modèles climatiques régionaux diffèrent sensiblement du climat observé au cours de la période de 1990 à 2000 et qu'il est difficile de sélectionner les « meilleurs » modèles régionaux par rapport aux variables climatiques observées. Lorsque ces résultats sont appliqués aux modèles de culture, les différences entre modèles climatiques conduisent cependant à des prévisions radicalement différentes concernant le rendement des cultures, dont beaucoup sont très loin des rendements observés. La correction des biais du climat simulé, à l'aide de la fonction de distribution cumulative, conduit à une plus grande cohérence des résultats des modèles de rendement et entre les rendements

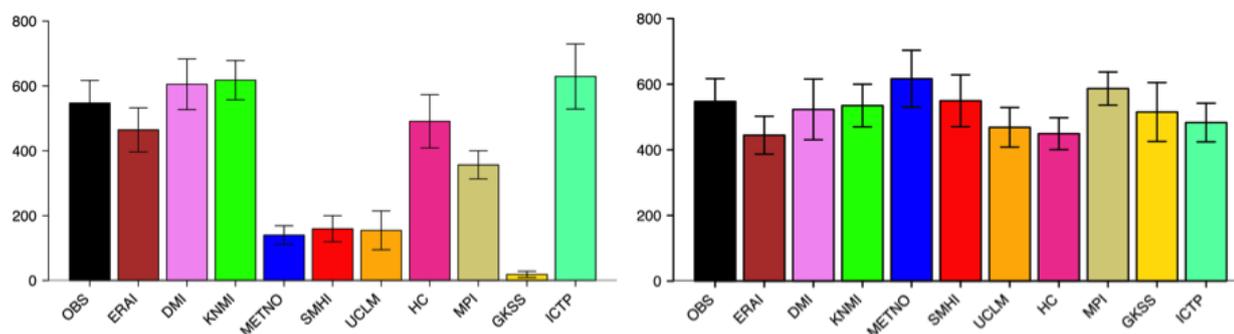


Figure 1. Les rendements des cultures, exprimés en kg/ha, observés (en noir) et simulés (en couleurs) pour l'Afrique de l'Ouest au cours de la période de 1990 à 2000 en utilisant le modèle de culture ORCHIDEE-Mil forcé par le climat simulé par différents modèles régionaux sans (à gauche) et avec (à droite) correction de biais. Les abréviations figurant le long de l'axe des abscisses, indiquent le modèle climatique régional utilisé pour la descente d'échelle du climat global. Extrait de Oettli et al. (2011).

simulés et observés (figure 1). Ceci indique que i) l'analyse des variables climatiques seule peut s'avérer insuffisante lorsqu'il s'agit de déterminer si le climat régionalisé est adapté pour une utilisation dans les modèles d'impact et ii) la correction de biais peut être essentielle avant toute utilisation des produits climatiques régionalisés dans le cadre des études d'impact. La correction de biais peut souvent s'avérer nécessaire, mais elle accentue la complexité et contribue à générer de nouvelles sources d'incertitude lors de la modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes.

Olives en Espagne

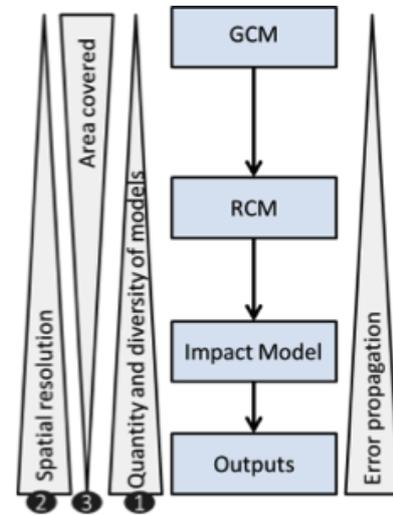
Cette étude ne s'appuie pas sur un modèle d'impact mais émane des oléiculteurs locaux, originaires de la région montagneuse de la Sierra Magina, en Espagne, intéressés par des projections climatiques à une échelle spatiale fine pour cette région (Cohen et al. 2013, Ronchail et al. 2013). L'analyse était basée sur les résultats de dix-sept modèles régionaux du projet ENSEMBLES disponibles avec une résolution de 25 x 25 km. Malgré la cohérence d'ensemble des projections – c'est-à-dire, un climat plus chaud et plus sec dans l'avenir – il existe d'importantes différences entre les projections climatiques obtenues par les différents modèles régionaux, même lorsqu'ils sont basés sur un même scénario d'émissions de gaz à effet de serre (SRES A1B) et forcés par un même modèle climatique global. Comme dans le cas de l'Afrique de l'Ouest, cela indique que l'utilisation des modèles climatiques régionaux contribue à augmenter le degré d'incertitude des prévisions climatiques. Il est également intéressant de constater que la descente d'échelle a fourni peu d'informations supplémentaires par rapport à une résolution plus faible. La coopération avec le laboratoire LADYSS a permis d'identifier d'importantes différences entre les mesures d'adaptation possibles dont disposent les producteurs face au changement climatique.

Descente d'échelle pour comprendre et prévoir les impacts climatiques sur les espèces et les écosystèmes (HUMBOLDT)

Atelier « ClimEcol : du climat à l'écologie, dialogue entre les communautés » – Paris, novembre 2013.

Cet atelier national, organisé dans le cadre du projet HUMBOLDT, visait à renforcer les liens entre les communautés étudiant le climat et l'impact écologique. Les sessions organisées dans le cadre de l'atelier ciblaient plusieurs défis, et notamment la descente d'échelle du climat pour les besoins d'études d'impact, l'amélioration de l'accessibilité aux données les plus récentes sur le climat et aux résultats de la modélisation, l'étude des rétroactions entre les écosystèmes et le climat régional et l'estimation de l'incertitude des projections climatiques et écologiques.

L'une des conclusions, basée sur une large gamme d'études de cas, a été de mettre en évidence

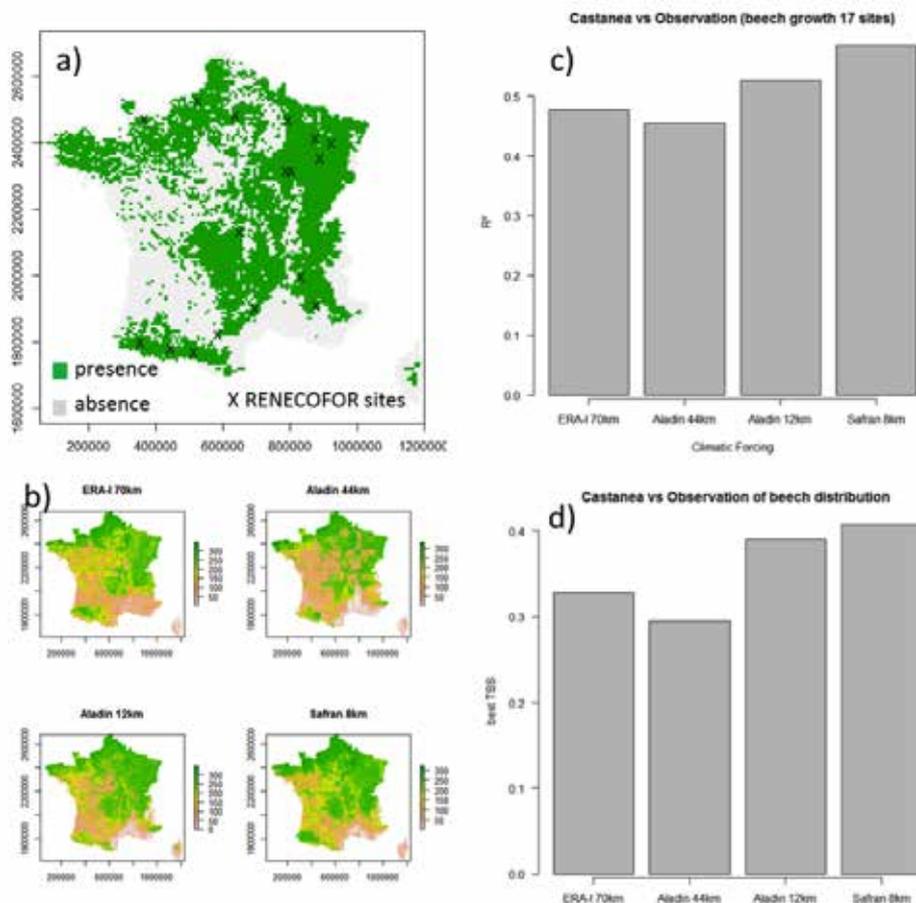


l'importance d'examiner la gamme complète des résultats de la chaîne scénarios d'émissions-modèle global-modèle régional lors des études d'impact en raison d'une très grande disparité des résultats. Cependant, le nombre très élevé des données associées à cette chaîne permet difficilement d'envisager l'utilisation d'un ensemble complet de combinaisons pour modéliser l'impact, surtout s'il faut comparer plusieurs modèles d'impact. Une collaboration plus étroite entre climatologues et écologues est nécessaire pour identifier les sous-ensembles les plus pertinents des résultats de cette chaîne qui pourront être utilisés pour les études d'impact. De façon plus générale, à la fin de l'atelier, les participants ont largement reconnu qu'il existait d'importantes divergences de points de vue sur la descente d'échelle entre les modélisateurs du climat et ceux des écosystèmes et qu'il était nécessaire de renforcer le dialogue climat-écologie et de faire des recommandations visant à faciliter ce dialogue.

La descente d'échelle pour les besoins d'études d'impact sur les arbres et les forêts

Le projet HUMBOLDT a démontré que la descente d'échelle permet d'améliorer, de façon significative, la capacité du modèle à reproduire les distributions d'arbres en France, mais seulement dans une certaine limite. Cet effet est plus prononcé aux limites des plages de distributions d'arbres. Les projections futures de distributions d'arbres réalisées en utilisant une résolution climatique à 50 km ont donné lieu, notamment, à une perte plus importante d'extension qu'en utilisant une résolution à 8 ou 20 km (Figure 2, Martin et al., en préparation). Les modèles climatiques régionaux, qui semblent être raisonnablement bien testés pour les données climatiques, peuvent aboutir à des projections radicalement différentes d'impacts sur les distributions d'arbres (Stephanon et al. 2015). La correction des biais peut atténuer certains de ces problèmes (Ruffault et al. 2012, Stéphaneon et al. 2015). Ce projet a également permis d'étayer la conclusion selon laquelle le dialogue entre modélisateurs du climat et des écosystèmes est fructueux et doit être renforcé.

Figure 2 : (a) Données : la couleur verte indique la présence du hêtre d'Europe (*Fagus sylvatica*) sur la base de l'inventaire forestier national ; les croix indiquent les 17 sites sélectionnés du réseau RENECOFOR sur lesquels ont été effectuées les mesures des variations interannuelles de la croissance au dessus du sol. (b) Cartes de la croissance au dessus du sol simulée par le modèle de croissance d'arbres CASTANEA forcé par différentes sources de climat : la réanalyse ERA-interim à 70 km ; le modèle régional Aladin à 44 km ; le modèle régional Aladin à 12 km ; la réanalyse Safran à 8 km. (c) et (d) Régression linéaire de la relation entre la croissance simulée et observée pour l'ensemble des 17 sites RENECOFOR et pour tous les ans, en utilisant différentes sources de climat pour forcer CASTANEA ; (c) Coefficient de détermination (coefficient R^2) et (d) Précision de l'ajustement (la meilleure somme des carrés ou TSS pour *total sum of squares*).



Descente d'échelle pour prédire les précipitations au Tibet (PLUIES-TIBET)

L'étude PLUIES-TIBET porte sur la reconstruction de la pluviométrie sur plusieurs siècles en utilisant une analyse isotopique de l'oxygène 18 (^{18}O) des cernes d'arbres (voir ci-dessous). Une partie de cette étude a concerné la validation des modèles climatiques sur la base des mesures de la teneur en ^{18}O des précipitations actuelles (Gao et al. 2011, Yao et al. 2013). L'étude a permis de constater que la régionalisation du climat en utilisant le modèle global LMDz, « zoom » pour obtenir une résolution spatiale de 50 km sur cette zone, a permis d'améliorer considérablement la simulation saisonnière de la composition isotopique des précipitations sur le plateau tibétain par rapport aux simulations climatiques à plus faible résolution des modèles climatiques globaux LMDziso et ECHAMiso (Yao et al 2013).

UTILISATION D'INDICATEURS ÉCOLOGIQUES POUR MIEUX COMPRENDRE LES CLIMATS DU PASSÉ ET LEURS IMPACTS

Dans les zones où il n'existe pas de données fiables enregistrées par un thermomètre, le climat peut être reconstitué en utilisant une large gamme de méthodes. Parmi les méthodes les plus performantes appliquées aux écosystèmes terrestres figure l'utilisation des cernes d'arbres qui peuvent souvent fournir des données climatiques datant de plusieurs siècles. Ainsi, les isotopes stables dans les cernes d'arbres offrent une occasion unique de générer des reconstitutions

Messages clés

Trois messages principaux concernant l'utilisation d'indicateurs écologiques pour reconstruire les climats du passé et leurs impacts ressortent des études menées dans le cadre des projets du GIS Climat :

- les évolutions récentes dans l'utilisation d'isotopes stables de l'oxygène et du carbone des cernes d'arbres ont permis de mieux comprendre le climat et les impacts climatiques passés sur les écosystèmes à des échelles temporelles allant de l'intra-annuelle à plusieurs siècles. Toutefois, les indicateurs isotopiques des cernes d'arbres doivent être interprétés avec beaucoup de prudence, car ils intègrent de nombreux signaux climatiques et non-climatiques ;
- les isotopes stables de l'oxygène des cernes d'arbres présentent un potentiel considérable en tant qu'indicateurs de précipitations et de sécheresse, et peuvent, dans certains cas, fournir des signaux climatiques plus clairs que les isotopes de carbone plus couramment utilisés ;
- les modèles mécanistes d'arbres et d'écosystèmes qui tiennent compte des traceurs isotopiques peuvent fournir de précieux renseignements sur les mécanismes sous-jacents aux signaux des isotopes stables.

Compte tenu du potentiel des isotopes stables pour apporter de nouveaux éclairages sur les climats passés et les impacts sur les écosystèmes, une attention toute particulière, dans le cadre de la suite du GIS Climat, devrait être accordée pour améliorer la capacité à comparer ces indicateurs écologiques avec les résultats de modèles d'écosystèmes et d'atmosphère incluant une représentation des isotopes stables.

temporelles détaillées du climat et de découvrir les impacts climatiques exercés sur les écosystèmes par le passé. Plusieurs projets du GIS Climat ont apporté une contribution substantielle à l'amélioration de l'interprétation des données émanant de l'analyse des cernes d'arbres en tant qu'indicateurs climatiques, en utilisant des isotopes stables et des modèles mathématiques.

Utilisation d'isotopes stables et de modèles pour reconstituer les régimes pluviométriques des trois cents dernières années au Tibet (PLUIES-TIBET)

Le projet PLUIES-TIBET était basé sur l'analyse des isotopes stables du carbone (^{13}C) et de l'oxygène (^{18}O) des cernes d'arbres pour fournir une meilleure estimation de l'impact de la variabilité interannuelle, décennale et centennale des précipitations sur d'autres variables climatiques, ainsi qu'une évaluation des simulations de modèles atmosphériques pour cette région et de la réponse des arbres et forêts locales au changement climatique. Ce projet a réuni des modélisateurs du climat et des paléo-climatologues dont l'objectif était de mieux comprendre le climat passé et actuel. Les isotopes ^{13}C et ^{18}O étant plus lourds que les isotopes plus communs du carbone (^{12}C) et de l'oxygène (^{16}O), ils se comportent différemment au cours des processus physiques, biologiques et chimiques. Ces analyses indiquent que les isotopes stables de l'oxygène constituent des indicateurs fiables du climat dans la région tibétaine, ce qui n'est pas le cas des isotopes du carbone (Shi et al. 2010, 2011, 2012).

Ce projet a été rendu possible grâce à un investissement substantiel dans un nouvel analyseur élémentaire à haute température (TCEA). Cet instrument était nécessaire à l'amélioration de la précision des mesures de ^{18}O des échantillons de la cellulose des cernes d'arbres, afin d'effectuer des mesures plus rapides, de réduire le nombre de répétitions, de réduire les coûts d'analyse et de permettre des mesures sur les cernes d'arbres étroits caractéristiques dans la zone tibétaine. Grâce au projet PLUIES-TIBET et au financement complémentaire obtenu du PRES Paris-Sud, le système a été acquis au début de 2009 et était pleinement opérationnel en juillet de cette même année.

Isotopes du carbone dans les cernes d'arbres

Contrairement aux attentes théoriques selon lesquelles la discrimination isotopique du carbone serait très sensible à l'humidité relative au cours de la saison de croissance, des mesures des cernes d'arbres correspondant à une période de cinquante ans, effectuées sur un groupe de jeunes arbres, se sont révélées décevantes. Premièrement, les données présentaient d'importants écarts entre les arbres. Deuxièmement, aucun lien avec les indicateurs locaux de climat ou d'humidité n'a pu être observé sur la base d'analyses statistiques. Les simulations effectuées en utilisant le modèle ORCHIDEE-iso pour la discrimination isotopique du

carbone laissent à penser que l'absence de signal face aux indicateurs climatiques de moyennes saisonnières s'explique par l'intermittence de la photosynthèse, qui atténue l'empreinte climatique instantanée (Shi et al. 2010, 2011).

Isotopes de l'oxygène des cernes d'arbres

Concernant cette région, les isotopes de l'oxygène ont fourni des résultats plus satisfaisants par rapport aux isotopes du carbone. Une forte cohérence dans un arbre (c'est-à-dire, à travers les cernes d'un même arbre) et entre différents arbres a pu être observée, en l'absence de tout effet significatif de l'âge de l'arbre, ce qui confirme des études préliminaires antérieures. À cet égard, un petit nombre d'arbres est suffisant pour capter un signal fort. Les données relatives à ^{18}O présentent une forte valeur ajoutée par rapport aux mesures classiques de largeur des cernes d'arbres qui nécessitent des méthodes statistiques d'extraction de tendance et le prélèvement d'échantillons de taille importante pour corriger les effets de l'âge de l'arbre. Une comparaison avec les données météorologiques a fait apparaître de bonnes corrélations avec des indicateurs d'humidité, y compris l'humidité relative, ainsi qu'avec l'indice de sécheresse de Palmer, les données sur la couverture nuageuse et les précipitations. La plus forte corrélation linéaire a pu être obtenue grâce aux données régionales de la couverture nuageuse. Le modèle ORCHIDEE-iso a également été utilisé pour simuler la dynamique de ^{18}O des arbres. Il a permis de simuler une forte corrélation entre ^{18}O et l'humidité relative locale, conformément aux prévisions obtenues grâce aux mécanismes d'enrichissement de l'eau des feuilles.

Le lien entre ^{18}O et les données régionales de couverture nuageuse pourraient provenir de plusieurs processus : les données de couverture nuageuse reflètent le flux d'humidité de la mousson vers le sud du Tibet et la zone de Bomi le long des systèmes fluviaux, et ce flux affecte également le bilan local d'humidité, l'humidité relative, et la composition isotopique des précipitations. En outre, la couverture nuageuse diurne affecte également le bilan de chaleur de surface et d'humidité, ce qui peut en outre affecter l'enrichissement de l'eau des feuilles par évapotranspiration.

Inférences concernant le climat au Tibet

Une série longue de mesures de cernes d'arbre couvrant deux cent vingt-six ans a permis de reconstituer les climats passés. Cette analyse fait état de conditions plus humides au XIX^{ème} siècle et aux siècles précédents par rapport à la situation actuelle, à l'exception d'une vague de sécheresse en 1810. Les données indiquent, notamment, un important changement de régime climatique à la fin du XIX^{ème} siècle, marqué par une évolution de conditions humides vers des conditions plus sèches, avec très peu d'étés très nuageux au cours du siècle dernier (figure 3, Shi et al. 2012). La raison de ce changement de régime demeure

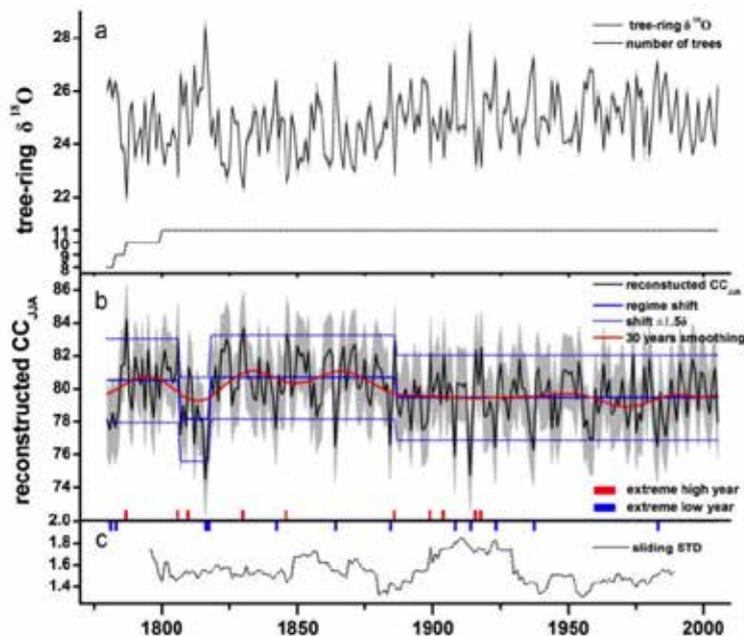


Figure 3 : L'oxygène 18 des cernes d'arbres tibétains couvrant les XIX^{ème} et le XX^{ème} siècles (a) et la reconstitution de la couverture nuageuse sur la même période (b). Les analyses statistiques indiquent un changement de régime qui s'est traduit par un passage d'un climat plus humide à un climat plus sec au début du XX^{ème} siècle. A noter également une période de sécheresse dans les années 1810, probablement liée à deux grandes éruptions volcaniques en 1809 et en 1815 (Tambora). Extrait de Shi et al. 2012.

inconnue. Certains auteurs font mention d'une variabilité accrue de l'humidité en Asie au cours des dernières décennies. Cette thèse n'est pas étayée par les données relatives à ^{18}O . D'autres auteurs ont expliqué la tendance à un très fort réchauffement au Tibet du fait d'une diminution de la couverture nuageuse en journée et d'une augmentation de celle-ci pendant la nuit. Au cours des dernières décennies, les données relatives à ^{18}O indiquent une augmentation de l'humidité et (probablement) de la nébulosité diurne. Enfin, certains auteurs ont suggéré qu'une augmentation d'émissions anthropiques d'aérosols pourrait avoir modifié la formation des nuages dans la région d'Asie du Sud. Les données relatives à ^{18}O ne révèlent pas de changements en dehors de la plage de variabilité des deux cent vingt-six dernières années.

Utilisation des cernes d'arbres pour comprendre le climat passé et ses impacts sur les arbres (AFOCLIM)

Le projet AFOCLIM visait à comprendre la réponse des arbres au climat en utilisant la largeur et la composition isotopique des cernes. Ce projet a réuni des climatologues (IPSL), des écologues (du laboratoire ESE et du laboratoire de foresterie à Nancy) et des géologues (laboratoire IDES à Orsay). Les données ont été collectées dans la forêt de Fontainebleau à partir de trois principales espèces d'arbres forestiers européens – chêne, hêtre et pin – couvrant les cinquante dernières années. La nouveauté de cette étude consistait à combiner les analyses de ^{13}C pour chaque cerne, afin d'examiner les réponses interannuelles à l'échelle des saisons, et les analyses d' ^{18}O en tant qu'indicateur supplémentaire du climat et du fonctionnement de l'arbre (Michelot et al. 2011, 2012a, 2012b).

Les cernes d'arbre, indicateur du climat passé et du fonctionnement des arbres

Des analyses de la largeur des cernes au cours des quarante-sept dernières années ont montré que les trois espèces d'arbres présentent une nette diminution de croissance en réponse à la sécheresse d'été, avec des variations plus marquées pour le hêtre que pour le pin et le chêne. L'analyse dendroclimatique a montré que les précipitations pendant la saison de croissance expliquent une partie importante de la variabilité interannuelle de croissance pour les trois espèces d'arbres. En outre, la croissance du hêtre et du chêne, mais pas celle du pin, est influencée par des paramètres climatiques de l'année précédente et, notamment, par les précipitations d'automne et la température d'avril. Le hêtre semble être particulièrement vulnérable aux gelées tardives de printemps, et le pin aux fortes températures de début d'été. En utilisant un modèle d'équilibre hydrique des sols, nous avons démontré que la période de sept ans de faible croissance des chênes (de 1972 à 1978) semble avoir été provoquée par un important déficit hydrique du sol à la fin de l'été 1971.

Signaux interannuels du ^{13}C et de ^{18}O des cernes des arbres en tant qu'indicateurs du climat passé et de la croissance des arbres

Concernant les analyses interannuelles du carbone ^{13}C , il existe une forte corrélation entre le $\delta^{13}C$ – proportion de ^{13}C par rapport à ^{12}C , exprimée par rapport à un standard en pour mille – des cernes d'arbres avec les paramètres climatiques, mais ces derniers varient suivant les espèces et généralement différent de ceux obtenus par la largeur des cernes, ce qui veut dire que les deux indicateurs (à savoir, la largeur des cernes et le ^{13}C) sont complémentaires (Michelot et al. 2012a). Par exemple, pour le chêne, les valeurs de $\delta^{13}C$ sont corrélées avec la température d'été, alors que ce n'est pas le cas pour la largeur des cernes.

Concernant les analyses interannuelles de ^{18}O , les variations de $\delta^{18}O$ – proportion de ^{18}O par rapport à ^{16}O , exprimée par rapport à un standard en pour mille – de la cellulose des cernes de chêne ont été fortement reliées à l'humidité relative d'été et à la température de printemps-été. Les meilleures corrélations ont été obtenues entre $\delta^{18}O$ et i) la température maximale moyenne au cours de la période d'avril à septembre ($r = 0,55$) et ii) l'humidité relative moyenne au cours de la période de juin à juillet ($r = -0,62$). Ces corrélations peuvent résulter de l'enrichissement par évaporation de l'eau des feuilles en raison de la transpiration stomatique qui est contrôlée par la température et l'humidité relative. Il est à noter que les tendances décennales de la température et de la série de $\delta^{18}O$

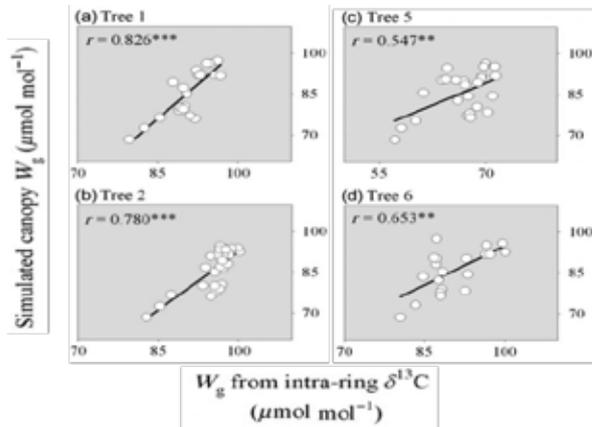


Figure 4 : Efficacité d'utilisation de l'eau (WUE pour *water use efficiency*) exprimée en μmol d'eau utilisée par mole de carbone au niveau de la canopée des arbres pour quatre chênes dans la forêt de Fontainebleau. Les corrélations entre les WUE basées sur l'utilisation intra-annuelle de $\delta^{13}C$ et les WUE modélisées à l'aide du modèle de croissance d'arbres CASTANEA. Extrait de Michelot et al. (2011).

sont similaires entre 1948 et 2002 et divergent au cours de la période entre 2002 et 2007 (voir figure 4), faisant apparaître un découplage encore inexplicable entre $\delta^{18}O$ et la température d'été. Des travaux supplémentaires ont été menés en vue de comprendre les relations entre le signal de $\delta^{18}O$ des cernes d'arbres et le signal climatique de $\delta^{18}O$ des précipitations en mesurant les procédés de fractionnement qui ont lieu entre les précipitations, l'infiltration et l'eau utilisée par l'arbre. Il a été constaté que l'interception des précipitations par la canopée a conduit à un faible enrichissement en ^{18}O et que le stockage de l'eau dans les sols a amorti la variabilité du $\delta^{18}O$ de l'eau de pluie. Un modèle de traceur isotopique pour les arbres (isoCASTANEA) est utilisé pour déterminer comment ce signal du sol est modifié au fur et à mesure que l'eau est reprise et utilisée par l'arbre.

Interprétation des signaux intra-annuels du ^{13}C

Une analyse des signaux de ^{13}C à l'intérieur des cernes peut être utilisée pour interpréter les effets climatiques passés sur l'efficacité d'utilisation de l'eau par l'arbre aux échelles de temps intra et interannuelle. En effet, lorsque l'on utilise des modèles de traceurs isotopiques pour déconvoluer le signal du ^{13}C intra et inter cernes (figure 4), on fait apparaître une relation évidente entre l'efficacité modélisée d'utilisation de l'eau au niveau de l'arbre et le $\delta^{13}C$ (Michelot et al. 2011, 2012b).

AMÉLIORER LA COMPRÉHENSION ET LA MODÉLISATION DES MÉCANISMES D'IMPACTS CLIMATIQUES SUR LA BIODIVERSITÉ, LE FONCTIONNEMENT DE L'ÉCOSYSTÈME ET L'HYDROLOGIE

Les projections d'impacts du changement climatique sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes sont un sujet fréquemment abordé dans des publications spécialisées. Cependant, de nombreuses sources d'incertitude demeurent incompréhensibles. D'importants progrès ont récemment

été réalisés dans le domaine de la modélisation des processus physiques, chimiques et biologiques intervenant dans la réponse aux changements climatiques, grâce aux nouvelles données et aux synthèses de données, ainsi qu'à des améliorations majeures de la modélisation. En outre, le rôle de la biodiversité dans le contrôle de la réponse au changement climatique des écosystèmes fait l'objet d'une attention grandissante. Les équipes du GIS Climat ont grandement contribué à l'amélioration des connaissances dans des domaines tels que la dynamique du carbone des sols, les impacts du changement climatique sur les arbres, la réponse des organismes marins à l'évolution des environnements physiques de l'océan et les impacts multi-échelles du climat sur l'hydrologie.

Comprendre et modéliser la dynamique du carbone dans les sols (CARBOSOIL)

Les modèles actuels de simulation de la matière organique du sol décrivent assez bien la taille des réservoirs existants dans les différents écosystèmes, mais peuvent, dans de nombreux cas, s'avérer insuffisants lorsqu'il s'agit de prévoir les changements futurs. Ces modèles n'intègrent pas, en effet, les progrès récents accomplis dans la compréhension des processus de contrôle

Messages clés

Dans l'ensemble, le travail au sein du GIS Climat a montré à quel point la compréhension des mécanismes à petite échelle et de la biodiversité est essentielle pour comprendre et prédire les processus à grande échelle. Les études réalisées au sein du GIS Climat ont permis de dégager, notamment, trois messages principaux :

- L'intégration des connaissances des processus du sol à petite échelle dans les modèles régionaux et globaux peut modifier substantiellement les projections des flux de carbone et de séquestration du carbone dans les sols. Ces effets sont assez importants pour exercer un impact significatif sur les projections futures des concentrations atmosphériques de CO_2 ;
- Des développements en cours dans les modèles globaux et régionaux améliorent la prise en compte de la biodiversité des écosystèmes marins et terrestres. Cette amélioration est possible grâce à d'importantes bases de données qui permettent de développer et de tester ces modèles. L'amélioration de la représentation de la biodiversité (par exemple, la représentation des gros poissons dans les modèles marins, d'espèces différentes d'arbres ou d'organismes présents dans le sol), permettra de fournir, aux scientifiques et aux décideurs, des indicateurs plus pertinents de l'écosystème et d'améliorer la capacité de simuler les cycles biogéochimiques ;
- L'intégration des connaissances à petite échelle peut améliorer sensiblement la capacité des modèles hydrologiques à simuler la dynamique à l'échelle de grands bassins versants.

Dans plusieurs cas, les moyens de passage des processus à petite échelle vers les processus à grande échelle ont été proposés et testés.

de la dynamique de la matière organique, responsables de sa stabilisation sur des échelles de temps allant d'années à des millénaires. Cette différence s'explique notamment par le fait que les modélisateurs à l'échelle globale et les scientifiques experts des processus des sols appartiennent à des communautés scientifiques distinctes. Le projet CARBOSOIL a réuni trois équipes aux compétences complémentaires afin d'améliorer la description de la dynamique du carbone dans le sol dans les modèles spatialisés d'écosystèmes.

Priming effect et transport du carbone organique dans les sols

Le *priming effect* dans les sols se produit lorsque les apports de carbone frais activent la dégradation microbienne de la matière organique du sol. Ils ont fait l'objet d'une attention toute particulière dans le contexte du changement climatique et de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère parce que cet effet pourrait potentiellement conduire à des pertes de carbone dans les sols dont la plupart des modèles ne tiennent pas compte. Le projet CARBOSOIL a trouvé peu de preuves d'un *priming effect* lors de l'ajout de sources de carbone frais à des sols agricoles (Cardinael et al. 2015).

Une nouvelle comparaison d'un large éventail de modèles de sol avec des données de carbone du sol recueillies dans le cadre du projet CARBOSOIL a démontré que les modèles qui tiennent compte du transfert vertical sont plus performants que les modèles pour lesquels ce n'est pas le cas (Guenet et al. 2012). Cela signifie que la plupart des modèles, y compris l'ensemble des modèles de surface terrestre, comportent d'importantes erreurs de simulation des flux et du stockage de carbone dans le sol. Un nouveau modèle, qui tient compte du transfert vertical de carbone, a été développé et pourrait être utilisé à plusieurs échelles spatiales.

Méta-analyse et modélisation des effets environnementaux sur la respiration du sol

Cette composante du projet CARBOSOIL a permis d'examiner les impacts de la température et de l'humidité sur les taux de décomposition du sol et la manière de les modéliser. Ce travail a permis de démontrer que les modèles actuels de l'écosystème agricole ne tenaient pas correctement compte des effets hydriques sur la respiration du sol et propose un nouveau modèle simple, basé sur des mécanismes connus de contrôle de la respiration du sol (figure 5). Les relations de température utilisées dans les modèles existants se sont également avérées insuffisantes lorsqu'il s'agit de décrire la respiration du sol à partir d'une large gamme de conditions basées sur des comparaisons avec une méta-analyse de données émanant d'expériences réalisées sur les sols (Hamdi et al. 2012).

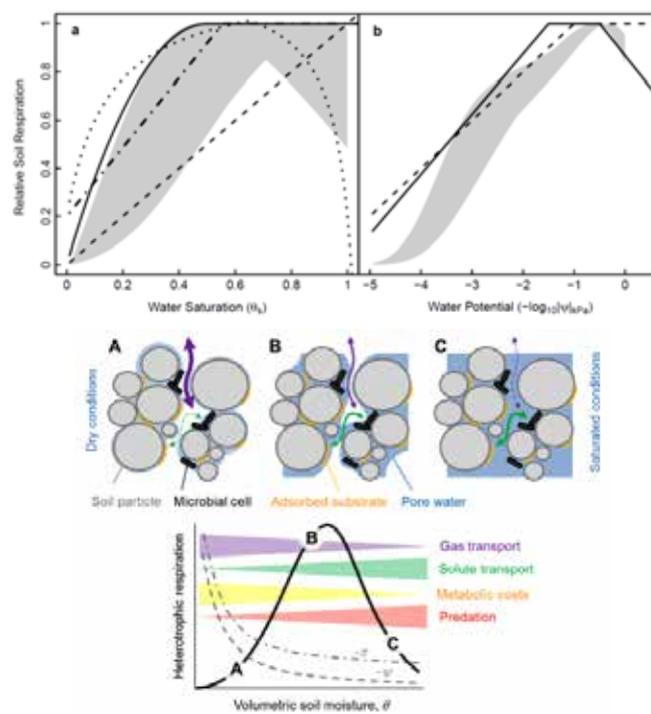


Figure 5 : Comparaison des représentations des effets de la teneur en eau du sol sur sa respiration dans les modèles existants (lignes sur le schéma d'en haut) par rapport aux observations (zones grises), de Moyano et al. (2012). Les modèles existants utilisent soit la saturation en eau du sol (modèles CANDY, bethy, SimCycle et RothC, partie a), soit le potentiel en eau du sol (modèles Daisy et SOILCO2, partie b). Sur le schéma situé en bas est illustrée une nouvelle approche de modélisation basée sur les mécanismes physiques et biologiques fondamentaux régissant la respiration du sol en fonction de la teneur en eau (extrait de Moyano et al. 2013).

Construire et tester le modèle d'océan couplé physique-biogéochimie marine (MED-ICCBIO)

L'un des objectifs de ce projet consistait à développer des modèles entièrement couplés d'interactions climat-océan qui permettent de simuler les effets du climat sur la productivité primaire marine et les changements dans l'abondance de plusieurs groupes de phytoplancton (ECO3M) et/ou de niveaux trophiques (PISCES) dans les systèmes marins. Le modèle ECO3M présente un intérêt particulier pour la modélisation de la mer Méditerranée en raison de sa meilleure résolution des groupes de phytoplancton impliqués dans les cycles biogéochimiques. Ce projet complète le projet de développement de la plateforme de modélisation régionale MORCE-MED. Un effort technique concerté a été entrepris visant à développer le couplage et à le tester. Les essais ont été basés sur de nombreux paramètres, notamment les distributions verticales d'azote et de phosphore, ainsi que sur des indices de la production primaire par télédétection. Les premiers résultats des simulations obtenus en utilisant le modèle entièrement couplé ont permis de démontrer que les flux de carbone dans les eaux profondes semblaient être dictés par les flux de matière organique dissoute et non par le flux de particules (Guyennon et al. 2015). De nombreuses caractéristiques sont raisonnablement bien reproduites, cependant, certaines zones présentent un biais important, telles que la mer Adriatique, qui, selon les résultats du modèle, est très productive, alors que

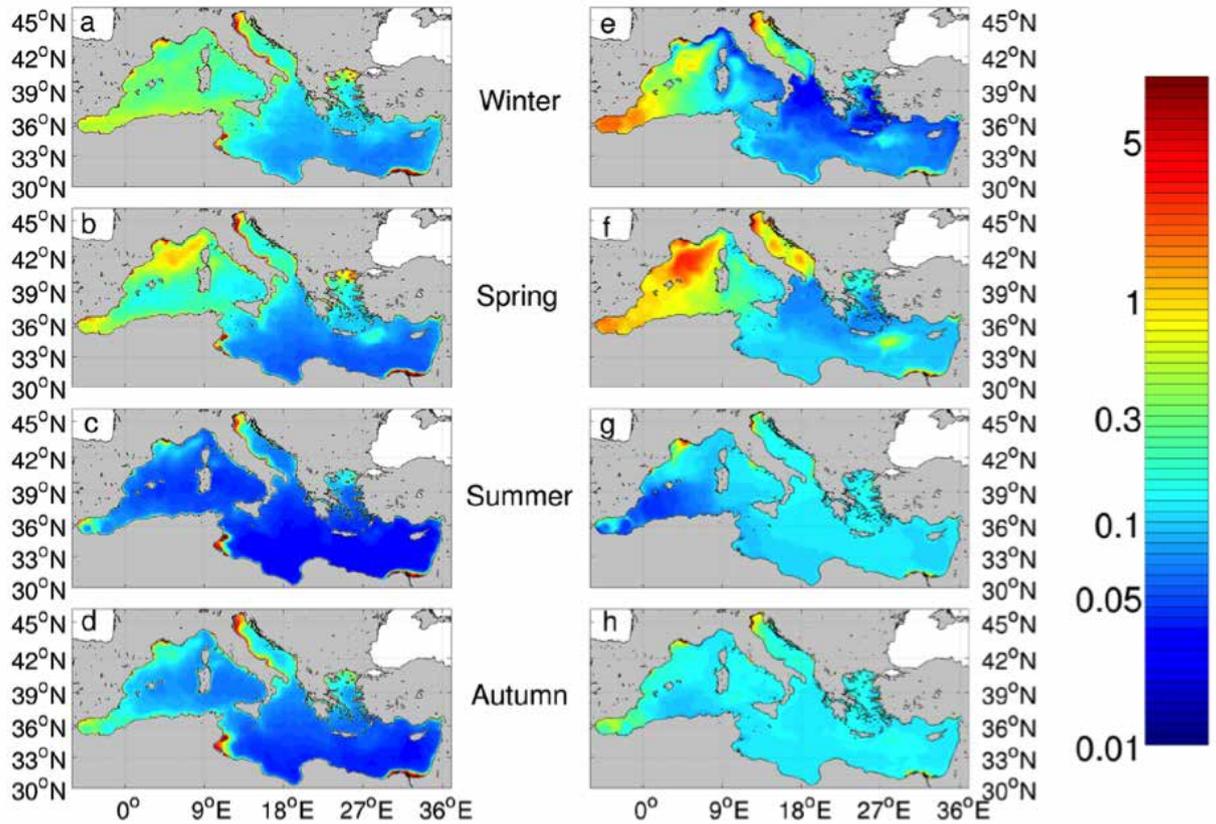


Figure 6 : Cartes des concentrations moyennes de chlorophylle de surface à partir de mesures satellitaires (à gauche) et simulées par le modèle couplé NEMO-Med12/ECO3M (à droite). Extrait de Guynnnon et al. (2015)

les observations satellitaires ne corroborent pas ce résultat. Il est probable qu'un problème dans le modèle hydrodynamique soit responsable de cette mauvaise représentation des concentrations de chlorophylle. D'autres travaux auront pour objectif d'affiner le modèle et d'explorer le rôle du plancton dans les grands flux biogéochimiques.

TRY – une base de données mondiale des traits de vie des plantes pour comprendre et prédire la réponse des écosystèmes aux changements globaux (HUMBOLDT)

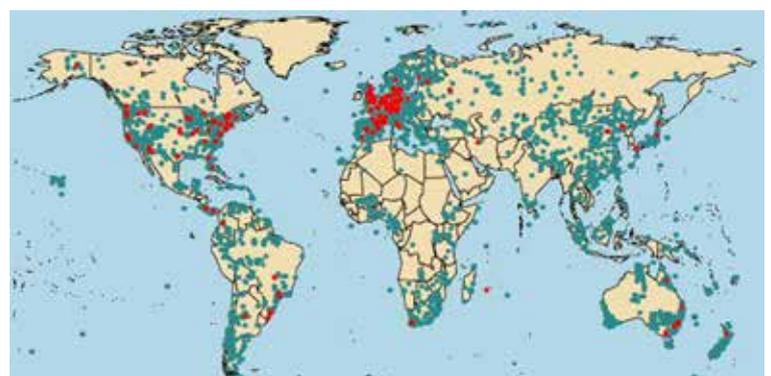
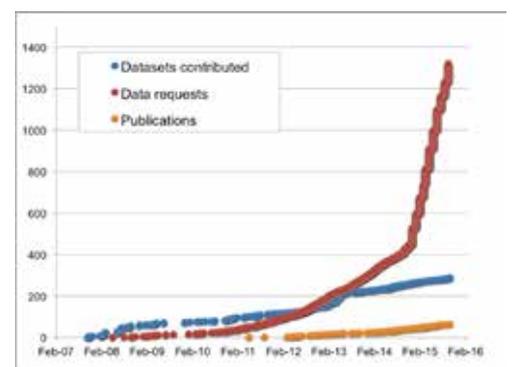
Les analyses et les modèles de réponse d'une plante à l'environnement dépendent souvent de l'utilisation de ses traits de vie (descripteurs biologiques et comportementaux caractéristiques), telles que la teneur en azote des feuilles, les taux maximum de photosynthèse, la hauteur des plantes, etc. Les programmes de recherche internationaux IGBP (pour *International geosphere biosphere programme*) et DIVERSITAS, l'Institut Max Planck de léna, et plusieurs autres partenaires (<https://www.try-db.org/TryWeb/About.php>) ont lancé une initiative internationale visant à rassembler les données existantes concernant les traits de vie des plantes dans une seule base de données mondiale appelée « TRY ». Le GIS Climat a rejoint ce partenariat au moment clé, où le financement, de la plupart des autres partenaires, avait pris fin.

Le GIS Climat a coparrainé deux ateliers d'une importance capitale, qui ont permis d'achever la création de la base de données et l'établissement des règles de son utilisation. Actuellement, la base de données en ligne contient 5,6 millions de références concernant 100 000 espèces végétales et est, en grande partie, en libre accès (Kattge et al. 2011). Le nombre de données fournies, leur utilisation et les publications utilisant TRY se

Figure 7 : Évolution, au fil du temps, du nombre d'études de modélisation réalisées à l'aide de la base de données centrale TRY (graphique du haut).

En bas : emplacement des sites d'observation (points verts) et des institutions (points rouges) impliqués dans TRY.

<https://www.try-db.org/TryWeb/About.php>



développent rapidement. Une partie conséquente de ces publications porte sur l'analyse des effets du changement climatique sur les plantes et les écosystèmes ou sur l'utilisation de TRY dans le cadre du développement et de l'évaluation des modèles, y compris des modèles développés dans le cadre du GIS Climat (une nouvelle version d'Orchidée basée sur les traits de vie des plantes et un modèle forestier mondial DOFOCO).

Amélioration des méthodes de modélisation de l'impact du changement climatique sur l'hydrologie

Hydrologie au Laos (PASTEK)

Le projet PASTEK visait à analyser les impacts du changement global sur la quantité d'eau (débit) et la qualité de l'eau (contamination bactérienne) de la rivière Nam Khan, un des principaux affluents de la rivière Mékong, qui draine un bassin versant de 7200 km². Le projet était notamment axé sur la

modélisation de l'impact du changement global (utilisation des terres, population, climat) et des variations de volume du ruissellement, du débit de base et de la qualité de l'eau de la rivière Nam Khan. Des efforts considérables ont été déployés pour passer des processus à petite échelle, au niveau d'un point et d'une parcelle, à l'échelle du bassin versant en utilisant une combinaison de mesures *in situ*, des données indirectes (par exemple, des traceurs, la télédétection) et des modèles (figure 8, Ribolzi et al. 2011a, b, Lacombe et al. 2010, Lestrelin et al. 2012, Patin et al. 2012).

Ce projet de recherche a clairement démontré qu'à petite échelle (de 1 m² jusqu'à quelques km²), le ruissellement était principalement influencé par l'état de la surface du sol et par l'utilisation des terres (figure 9, Patin et al. 2012, Huon et al. 2013). Les modèles hydrologiques distribués permettent de prédire de manière satisfaisante le débit des bassins versants à partir de l'utilisation

des terres et de données climatiques. À l'échelle du bassin (103 km²) les données climatiques sont suffisantes pour prédire correctement le débit, comme l'a montré l'analyse de données provenant de cinq grands bassins du nord du Laos. A cette échelle, l'impact de l'utilisation des terres n'a pas pu être détecté. Cette étude souligne l'importance de l'échelle spatiale dans la compréhension des processus qui déterminent l'hydrologie et la qualité de l'eau, avec des conséquences importantes pour la communication avec les parties prenantes et les décideurs qui influencent l'utilisation des terres et la gestion de l'eau. Les études à plusieurs échelles spatiales ont également illustré l'importance de la gestion des terres, en ce qui concerne l'utilisation de déjections humaines et animales,

et de l'hydrologie, en ce qui concerne les charges bactériennes dans les ruisseaux (Causse et al. 2015, Patin et al. 2015).

Hydrologie en Amérique du Sud (REGYNA)

Une partie du projet REGYNA est axée sur la modélisation des impacts du changement climatique sur les projections de flux de l'Amazone occidentale. Avant tout, les modèles ont fait l'objet de quelques améliorations parmi lesquelles figurent notamment : i) un nouvel ensemble de données de précipitations pour améliorer l'écoulement du courant simulé, ii) l'introduction de cartes de plaines inondables et marécageuses plus réalistes en vue d'améliorer la représentation de la hauteur d'eau et l'étalonnage de la constante de temps du réservoir de la plaine inondable (Guimberteau et al. 2012). Le modèle a ensuite été exécuté en utilisant huit simulations

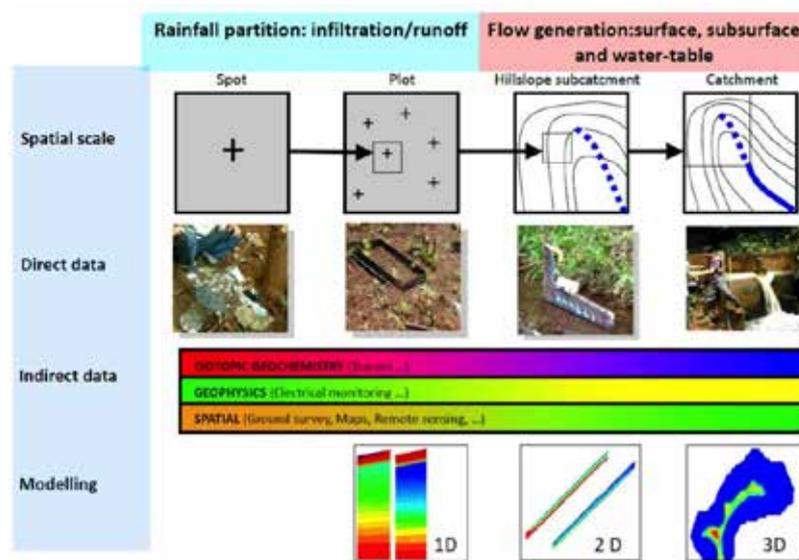


Figure 8 : Méthodes de mise à l'échelle supérieure aux fins de la modélisation des flux et de la qualité de l'eau de la rivière Mékong au Laos.

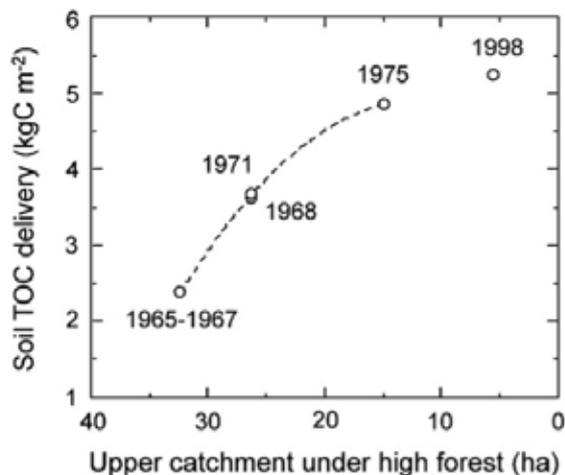


Figure 9 : Apport total de carbone organique du sol en fonction de la couverture forestière dans les zones supérieures du bassin versant de Houay Pano (67 ha) au Laos. Le transport de carbone organique du sol a augmenté avec le déboisement de la zone du bassin supérieur au cours de la période de 1965 à 1998. Extrait de Huon et al. (2013)

climatiques basées sur IPCC AR4. Le débit moyen à la dernière station étalonnée du bras principal n'est pas affecté de façon significative pour les scénarios de changement climatique. Toutefois, une diminution des faibles débits est simulée dans le cadre du scénario SRES A1B pour la période de 2046 à 2065 alors qu'une augmentation des débits élevés est prévue pour la période de 2079 à 2098 dans le cadre du scénario A2 (Guimberteau et al. 2013).

ADAPTATION ET ATTÉNUATION CLIMATIQUE : QUANTIFIER ET GÉRER L'INCERTITUDE

Messages clés

- Mettre en œuvre des stratégies d'adaptation et d'atténuation climatiques devient une priorité plus importante des praticiens et des politiques. Cependant, lors de l'élaboration de ces stratégies, les incertitudes sont souvent largement sous-estimées. Quelques exemples tirés des projets GIS l'illustrent :

- La réduction du labour du sol – qui a souvent été mis en avant pour augmenter le stockage du carbone dans les systèmes agricoles à très grande échelle – semble avoir des effets beaucoup moins importants sur la séquestration du carbone qu'on ne le pensait ;

- Les modèles qui représentent les interactions climat/surfaces terrestres révèlent que l'utilisation des terres peut avoir des répercussions importantes sur le climat régional (par exemple, des différences de température de l'ordre de 1 à 2°C) par le biais des rétroactions sur l'eau et le rayonnement. Ils peuvent aggraver ou contrer les effets sur le climat des gaz à effet de serre émis par le changement d'utilisation des terres ;

- Les décisions relatives à la gestion des forêts dans le contexte du changement climatique ont souvent été basées sur un modèle unique d'impacts sur les arbres. Les comparaisons entre une large gamme de modèles climatiques et de modèles d'arbres indiquent que les projections futures de distribution et de productivité des arbres comportent un degré très élevé d'incertitude dont il convient de tenir compte dans les stratégies d'adaptation de la gestion des forêts.

- Le programme de trames vertes en France pourrait jouer un rôle important dans l'adaptation climatique ;

- Des progrès ont été accomplis dans la communication des connaissances scientifiques et de leurs limites, ainsi que dans la fourniture d'indicateurs aisément compréhensibles. Cependant, la mise en œuvre réussie des stratégies d'adaptation et d'atténuation climatiques nécessitera une recherche interdisciplinaire plus approfondie et un renforcement substantiel de la communication entre les scientifiques, les décideurs politiques et les citoyens.

français a récemment annoncé un important programme d'atténuation du changement climatique avec pour objectif d'accroître le stockage du carbone dans les sols agricoles de 0,4 % par an. Le changement de pratiques de labour du sol pourrait jouer un rôle clé. Cependant, il existe une importante variabilité du SOC supplémentaire qui demeure inexplicée et qui empêche toute prévision précise du potentiel du non labour concernant la séquestration du carbone dans le sol.

Dans le cadre du projet CARBOSOIL, plusieurs études ont été réalisées afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents au stockage du carbone dans les sols agricoles, aux impacts des pratiques de gestion et aux effets possibles des changements climatiques sur ce stockage (Barré et al. 2010, 2011 Eglin et al. 2010, 2011, Virto et al. 2012). Une de ces études a mené une importante série d'expériences concernant le stockage du carbone dans les sols afin de comparer le système de labour conventionnel et le système sans labour (Virto et al. 2012). Contrairement aux études précédentes, la synthèse de ces expériences fait apparaître que le système sans labour ne se traduit pas systématiquement par un stockage plus important du carbone par rapport au labour conventionnel, et remet ainsi en question l'importance du système non labour en tant que moyen de lutte contre le changement climatique. En effet, les différences entre ces expériences s'expliquent davantage par des apports annuels de carbone et non par les différences de pratiques de labour du sol (Figure 10).

Compréhension et modélisation des effets de la gestion des sols sur le stockage du carbone dans les systèmes agricoles (CARBOSOIL)

La conversion au non labour des terres, c'est-à-dire en éliminant le labour profond des sols, est en augmentation dans le monde entier. Plusieurs études montrent que le non labour augmente les stocks de carbone organique du sol par rapport aux systèmes classiques de labour qui accélèrent la dégradation du carbone dans le sol. Il est important de le mentionner car une augmentation du stockage du carbone dans le sol par les systèmes agricoles pourrait grandement contribuer au bilan mondial du carbone. En effet, le ministre de l'agriculture

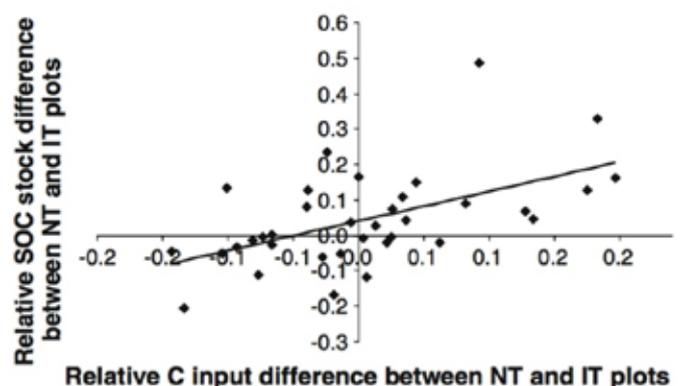


Figure 10 : Les différences relatives du stock de carbone organique du sol (SOC) par rapport aux différences annuelles relatives entre l'apport de carbone organique pour un système sans labour (NT) et le système conventionnel avec labour (IT). Les différences relatives du stock et de l'apport relatif annuel du carbone sont étroitement liées ($p = 0,001$, $R^2 = 0,30$).

Rétroactions entre la couverture terrestre et le climat régional (MORCE-MED, HUMBOLDT)

Des études ont clairement démontré la possibilité d'impact considérable du changement de végétation et d'occupation des sols sur le climat local et régional. Ces rétroactions portent sur les changements de température (jusqu'à environ 1 à 2° C) et sur les précipitations. Les efforts se concentrent, à présent, sur l'amélioration de la caractérisation des mécanismes sous-jacents et sur le développement d'outils de modélisation et d'ensembles de données en vue d'explorer ces rétroactions dans de nombreux cas. Les recherches menées dans le cadre d'une collaboration entre les projets MORCE-MED et HUMBOLDT ont permis d'analyser lesdites rétroactions en utilisant un modèle couplé climat-surface terrestre, développé dans le cadre de MORCE-MED. Des scénarios très contrastés d'utilisation des terres – l'un basé sur la couverture terrestre actuelle avec une agriculture extensive à basse altitude et l'autre basé sur la couverture terrestre « potentielle » (c'est à dire « naturelle ») dominée par les forêts – ont été utilisés pour examiner les rétroactions surface terrestre-climat régional pendant les vagues de chaleur qui ont touché le centre de la France en juin et août 2003.

Au printemps, l'agriculture est en plein essor et conduit à une évapotranspiration plus forte que lorsque le sol est recouvert de forêts et d'herbacées naturelles. Il s'ensuit, au cours de la première vague de chaleur de juin, un réchauffement atténué dans le cas d'un sol cultivé. A partir du mois de juillet, le stress hydrique est assez marqué et les cultures en souffrent plus que les arbres, dont le système racinaire est plus développé. La deuxième vague de chaleur, en août, est alors marquée par un réchauffement régional plus fort en présence de sols cultivés qui n'évaporent plus que dans l'hypothèse d'une végétation potentielle (forêts) qui, elle, est pleinement développée. Cet effet « rafraîchissant » des forêts est cependant limité parce que les températures atteignent des valeurs tellement élevées que l'assimilation de carbone par les arbres (et donc la transpiration) est inhibée (Stefanon et al. 2014).

Gestion des forêts dans le contexte du changement climatique (HUMBOLT)

Le GIS Climat et le projet HUMBOLDT ont contribué à nouer le dialogue entre les sylviculteurs, les chercheurs en foresterie et les politiques sur les stratégies d'adaptation des forêts au changement climatique. Deux réunions, auxquelles a participé le GIS Climat en tant que partenaire majeur, en sont une parfaite illustration. La première a eu lieu à Paris en 2010 et a réuni des scientifiques représentant une large gamme de disciplines, des politiques et des gestionnaires forestiers autour du thème « Adaptation au changement climatique : les forêts, les zones naturelles et la biodiversité ». Cet atelier de deux jours a été parrainé par le GIS

Climat, l'Association NSS-Dialogues et l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'UQAM. Le programme et les présentations de cet atelier sont consultables en ligne sur le site du GIS Climat (www.gisclimat.fr).

La deuxième réunion, organisée en 2010, avait pour titre « Forêts et enjeux d'avenir » et a été accueillie par le Sénat en la personne du sénateur Philippe Leroy. Elle a également réuni des scientifiques représentant une large gamme de disciplines, ainsi que des politiques et des praticiens. Durant ces deux jours, de nombreux sujets liés à l'avenir des forêts françaises ont pu être abordés et, notamment, les questions de changement climatique, de protection de la biodiversité et de services écosystémiques. De nombreuses présentations étaient axées sur les stratégies d'adaptation au changement climatique et sur le rôle des forêts dans l'atténuation du changement climatique. Le GIS Climat a coparrainé cet événement avec le Sénat, l'Université Paris-Sud, le GIP ECOFOR, la Fondation Française pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) et AgroParisTech. Plusieurs travaux de recherches des membres du GIS Climat ont alors été présentés portant, notamment, sur les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation pour les forêts françaises (Cheaib et al. 2012).

Interactions entre les infrastructures vertes urbaines et le climat (CCTV2)

Le projet pluridisciplinaire « Changement climatique et trames vertes (CCTV2) » a mobilisé des chercheurs des sciences sociales, des sciences de l'atmosphère et de l'écologie afin d'examiner les relations entre les espaces verts urbains et l'adaptation au changement climatique et de confronter les points de vue des scientifiques, des praticiens et des citoyens (Boudes 2012, Boudes et Colombert 2012, Blanc et al. 2013). La contribution de ce projet aux enjeux inter et transdisciplinaires est évoquée au chapitre 5 du présent document et la dimension sociale présentée dans l'encadré pages suivante. En ce qui concerne l'interaction entre les écosystèmes et les sciences de l'atmosphère, le projet CCTV2 est axé sur i) l'inclusion de la végétation dans les modèles de villes en vue d'étudier le climat urbain et la pollution de l'air, ii) l'inclusion des villes dans les modèles climatiques globaux pour étudier les rétroactions entre l'urbanisation et le climat régional et iii) l'étude de l'influence potentielle des interactions plantes-sol sur le climat urbain.

Végétation et climat urbain

À l'échelle des villes, l'une des activités était axée sur l'adaptation des modèles atmosphériques afin d'étudier les interactions climat-végétation. Cela implique le développement de modèles qui puissent prendre en compte la complexité de la région urbaine, telles que la géométrie des bâtiments et la présence de végétation. Un modèle-colonne de canopée urbaine, le modèle CIM (pour *Canopy Interface Model*) a été

Comment les sciences humaines et sociales ont cadré le projet CCTV

Les relations entre trames vertes urbaines et adaptation au changement climatique ne peuvent être appréhendées par les seules approches biophysiques et écologiques car ce sont des objets porteurs d'enjeux de territoire et construits par l'action publique et collective. Il s'agit donc de prendre en compte les questions de végétalisation des villes, de ses fonctions par et pour les différents acteurs.

C'est dans cet objectif que le projet CCTV a analysé – outre les effets climatiques potentiels des trames vertes urbaines – les points de vue scientifiques, politiques et socioculturels (savoirs profanes notamment) sur les façons dont est pris en compte (ou non, et dans ce cas pourquoi) le végétal au sein des politiques climatiques. Pour mieux comprendre comment s'élaborent les choix en matière de climat local, directement (Plans climat) ou non (politiques de végétalisation des villes), CCTV a mobilisé une approche complémentaire science/politique qui a permis de confronter les apports disciplinaires et interdisciplinaires dans l'étude de la construction des savoirs locaux et des décisions politiques.

Il a été ainsi possible de caractériser les principaux registres de discours autour de la végétation urbaine par les acteurs (récits individuels et collectifs de la nature en ville, aspects politiques et normatifs et dimensions conceptuelles) et au travers de ceux-ci des catégories significatives pour parler de la nature en ville (trame verte, mais aussi plante, arbre ou square) ou du climat (climat mais aussi atmosphère, pollution ou îlots de chaleur). La pluridisciplinarité des recherches a permis de développer un vocabulaire commun aux équipes de sciences humaines et sociales, sciences des écosystèmes et de l'atmosphère et de comprendre les méthodologies de chacun et leurs limites. Elle a notamment contribué à la définition de méthodologies permettant de confronter savoirs et représentations du rôle des trames vertes sur le climat urbain et la pollution de l'air.

Un des objectifs de CCTV étant de créer des ponts entre recherche scientifique et décision politique, le projet a contribué à des échanges avec les sphères non académiques, en participant à des manifestations accueillant chercheurs et gestionnaires et en co-organisant la journée d'étude « Végétation, ville et climat : approches scientifiques, enjeux politiques » avec la Mairie de Paris en décembre 2012.

Les recherches menées dans le cadre de CCTV ont été comparées avec celles menées aux États-Unis notamment, lors de séminaires ouverts à des spécialistes des trames vertes et à des chercheurs étrangers participants aux programmes *Long Term Ecological Research* (LTER) et lors de visites à ces LTER étasuniens.

développé pour représenter des objets en trois dimensions, y compris les couvertures végétales, et a ensuite été incorporé dans le modèle régional atmosphérique WRF (pour *Weather Research and Forecasting*). Selon les études réalisées avec des configurations théoriques de villes à l'aide des modèles WRF-CIM, le modèle CIM a permis d'améliorer les prévisions du climat simulé en milieu urbain et de fournir plus d'informations sur les profils verticaux de température dans les villes, sans qu'il soit nécessaire d'augmenter la puissance de calcul. Le modèle WRF-CIM a été mis en place pour la zone urbaine de Strasbourg et ses résultats préliminaires s'avèrent encourageants.

Urbanisation et climat régional

À l'échelle régionale et globale, l'objectif était d'étudier les effets du changement climatique sur les zones urbaines et de l'urbanisation sur le climat à l'échelle régionale. À cette fin, le modèle de surface terrestre ORCHIDEE a été modifié pour prendre en compte les zones urbaines d'une manière très simplifiée. Il a été couplé avec le modèle climatique à l'échelle globale LMDz et a été utilisé pour étudier les impacts de l'urbanisation en Chine sur le climat régional, en collaboration avec l'Université de Pékin. Ce projet se poursuit dans le cadre de LabEx BASC (Biodiversité, Agroécosystèmes, Société, Climat), au sein duquel les modèles sont affinés et peuvent être appliqués à une variété de contextes urbains.

Influence de l'écosystème sol-arbres sur le climat urbain

Cette étude a porté sur le rôle des sols dans la médiation des effets des arbres – plantations d'alignement – sur le climat urbain. Les travaux avec les isotopes stables du carbone et de l'azote ont illustré les effets de l'âge de l'arbre sur l'apport de carbone et d'azote dans les sols et ont également souligné l'importance de l'impact de l'âge de l'arbre sur le climat urbain. L'hypothèse proposée est que les tendances observées sont liées à une dynamique d'accumulation après implantation en milieu urbain, les apports de carbone étant principalement liés aux apports racinaires et ceux d'azote aux entrées atmosphériques.

Une des conséquences remarquables de l'effet différentiel de l'âge des plantations d'arbres (temps de développement du système racinaire, augmentation de la densité racinaire avec le temps) concerne les capacités rafraîchissantes de la végétation arborée puisque l'accès à l'eau (qui passe par les racines) est un paramètre central pour la capacité des arbres à rafraîchir l'air alentour via leur transpiration. La question de l'augmentation de l'espérance de vie des arbres et de la préservation des plantations âgées pour maximiser l'effet rafraîchissant des plantations est donc posée.

Collaborations internationales

Le programme CCTV – outre de riches relations entre disciplines – a permis d'établir et de renforcer des collaborations sur la gouvernance des espaces verts dans les zones urbaines avec des chercheurs américains du réseau *Urban Sustainability* (projet RCN-SEES financé par la *National science foundation*) et les sites de recherche du *Long Term Ecological Research Network* (LTER) de Baltimore et de Coweeta.

Toits en milieu urbain : de nouveaux habitats pour relever les défis en matière de climat, d'énergie et de biodiversité

Le projet *Roofscape* s'est inscrit dans le cadre du programme *Ignis mutat res* (2011-2015) du ministère de la Culture¹ en partenariat avec le ministère de l'écologie et l'Atelier international du Grand Paris (AIGP). Il avait pour objectif de repenser l'architecture, les villes et les paysages sous l'angle de l'énergie. Ce projet a été coordonné par Alena Prochazka, chercheuse à l'université du Québec à Montréal. Par l'introduction du concept d'« épiderme urbain » – qui fait référence aux toits et aux surfaces situées en hauteur dans des villes – le projet proposait d'interroger les innovations potentielles en matière de mutation des modes d'aménagement dans un contexte urbain.

Les toits, et plus largement les interfaces bâties (rapport au sol, rapport au ciel, enveloppes verticales), ne sont pas simplement des objets construits, protecteurs vis-à-vis des aléas et des intempéries et supports de fonctions techniques ; ils constituent les liens entre la strate sociale de la ville et les milieux qui l'entourent. Ils peuvent contribuer à formuler des réponses d'adaptation au changement climatique (par exemple, par le biais de la réduction de la consommation d'énergie et de l'atténuation de l'îlot de chaleur) et à résoudre d'autres problèmes environnementaux qui nécessitent le rétablissement d'un lien fort avec la nature (par exemple, la restauration de la biodiversité).

Les toits, dont 30 % pourraient être végétalisés en milieu urbain, ont été étudiés dans le contexte des programmes de transition éco-énergétiques de trois villes : Chicago, Paris et Montréal. Deux approches ont été utilisées dans ce cadre : i) un programme de travail scientifique intégrant architecture, urbanisme, sociologie, philosophie, génie civil et écologique et climat urbain et ii) un programme d'ateliers axés sur la production de prototypes architecturaux pour favoriser les liens entre recherche et pratique. Un de ces ateliers a été organisé en 2013, à Chicago, avec les architectes et les urbanistes du cabinet HOK. En outre, les chercheurs ont travaillé avec les municipalités

lors, par exemple, du symposium international « La nature, source d'innovation pour une métropole durable » co-organisé avec la mairie de Paris en 2012, et du forum des partenaires « Stratégies et politiques de transitions pour un aménagement écologique et viable des toits urbains » préparé avec la ville de Montréal en 2014.

La synthèse des résultats du projet a fait l'objet de plusieurs interventions dans des conférences internationales et de publications universitaires (Abbadie et al. 2014, Dusza et al. 2015, Pacteau 2015, Pacteau et al., 2015) et d'articles dans la presse spécialisée en architecture. C'est ainsi que trois dossiers de la revue d'architecture du Québec (ARQ) lui ont été consacrés.

PERSPECTIVES

De nombreuses collaborations initiées par le GIS Climat se poursuivent dans le cadre du LabEx BASC (Biodiversité, Agroécosystèmes, Société, Climat). La collaboration avec le LabEx L-IPSL permet la mise en œuvre de plusieurs objectifs fixés par le GIS Climat. Le LabEx BASC regroupe plusieurs laboratoires au-delà de ceux qui sont impliqués dans le GIS Climat, ce qui lui permet d'élargir la nature interdisciplinaire de sa recherche. Il s'agit notamment des travaux concernant : les rétroactions entre l'utilisation des terres et le climat régional en utilisant des modèles couplés climat-écosystèmes ; la poursuite du développement de la plate-forme MORCE ; des études plus approfondies sur les impacts climatiques sur les écosystèmes terrestres à l'échelle régionale ; le développement et l'application d'un modèle urbain-péri urbain à la région parisienne afin d'étudier les effets du développement urbain sur le climat et les services écosystémiques ; la poursuite des recherches sur les mécanismes de régulation et les effets de la gestion sur le stockage du carbone dans les sols agricoles.

Dans le cadre de son Initiative Climat, la Fondation BNP-Paribas a également financé le projet FATES (*Fast climate changes, new tools to understand and simulate the evolution of the Earth system*). Ce projet réunit des paléo-climatologues et des écologues et vise à assurer le suivi de certains aspects des travaux entrepris dans le cadre du GIS Climat. Il sera davantage axé sur la capacité de plusieurs types de modèles à reproduire correctement les impacts des changements climatiques rapides.

La création, en 2015, de l'Université Paris-Saclay permettra également de faciliter les interactions à long terme entre les chercheurs du GIS Climat. Par exemple, un nouveau programme de master international intitulé CLUES (*Climate, land use and ecosystem services*) propose une formation interdisciplinaire aux étudiants qui s'intéressent à l'interface entre le climat et les écosystèmes. Plus généralement, l'école BASE (Biodiversité, Agriculture/Alimentation, Société, Environnement) offre un cadre propice à une collaboration plus étroite entre

¹ <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Architecture/Formations-Recherche-Metiers/La-recherche-architecturale-urbaine-et-paysagere/L-organisation-de-la-recherche/La-politique-incitative-a-la-recherche/Ignis-Mutat-Res>

les chercheurs et le développement de programmes de formation du niveau Master portant sur les interactions entre le climat, les écosystèmes et la société.

Le rôle des villes et de leurs infrastructures vertes face au changement climatique se poursuit également avec le projet de *hub* européen sur les villes mis en place dans le cadre du réseau international *Urban Climate Change Research Network* (UCCRN) (voir encadré chapitre 5). Il vise à partager entre plusieurs villes européennes les expériences de recherche-action sur les enjeux des villes.

Les projets du GIS Climat ont donc permis de créer et de renforcer une communauté travaillant sur les interactions climat-écosystèmes dont les travaux vont se poursuivre. Au-delà des thématiques précitées, de nombreuses autres questions nécessitent de renforcer ces interactions. Les intégrations climat-écologie-santé sont cruciales pour comprendre l'impact du changement climatique sur les maladies infectieuses, comme décrit au chapitre 4. La dimension sociale pourrait être également davantage intégrée, en particulier pour articuler les politiques sur le climat et la biodiversité et mieux appréhender les questions de gouvernance des socio-écosystèmes face au changement climatique.

RÉFÉRENCES

(AYANT BÉNÉFICIÉ DU SOUTIEN DU GIS CLIMAT)

Abbadie L., Pacteau C. & Y. Dusza. 2014. Pour des toits multifonctionnels : l'approche écosystémique. *ARQ – Architecture Québec*.

Barre P, et al. 2010. Quantifying and isolating stable soil organic carbon using long-term bare fallow experiments. *Biogeosciences* 7:3839-3850.

Berg A, de Noblet-Ducoudre N, Sultan B, Lengaigne M, Guimberteau M. 2013. Projections of climate change impacts on potential C4 crop productivity over tropical regions. *Agricultural and Forest Meteorology* 170:89-102.

Berg A, Sultan B, de Noblet-Ducoudre N. 2010. What are the dominant features of rainfall leading to realistic large-scale crop yield simulations in West Africa? *Geophysical Research Letters* 37 (art. L05405):6.

Berg A, Sultan B, de Noblet-Ducoudre N. 2011. Including tropical croplands in a terrestrial biosphere model: application to West Africa. *Climatic Change* 104:755-782.

Blanc, N., T. Arrif, Ph. Boudes & L. Cormier. 2013. 'Transversalité utopique entre aménagement de la ville et conception écologique des trames vertes', in N. Blanc et Ph. Clergeau, *Trames Vertes Urbaines*, Editions du Moniteur, 8p.

Boudes, Ph. 2012. L'impact des trames vertes et de la

végétalisation des villes sur l'adaptation des systèmes urbains aux changements climatiques. Une analyse de la littérature scientifique. *Climatologie*. 65-82

Boudes, Ph. and M. Colombert (eds.). 2012. *Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires*. Editions Vertig'O, 238 p. (également disponible en ligne, www.vertigo.com). Chapters in include Boudes, Ph. 'Le sociologue, le climat, les trames vertes et la ville : croisements complexes et féconds' / Rankovic, A., Ch. Pacteau and L. Abbadie. 2012, 'Services écosystémiques et adaptation urbaine interscalaire au changement climatique : un essai d'articulation.'

Cardinael R, Eglin T, Guenet B, Neill C, Houot S, Chenu C. 2015. Is priming effect a significant process for long-term SOC dynamics? Analysis of a 52-years old experiment. *Biogeochemistry* 123:203-219.

Causse J, et al. Field and modelling studies of *Escherichia coli* loads in tropical streams of montane agro-ecosystems. *Journal of Hydro-environment Research*.

Cheaib A, et al. 2012. Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters* 15:533-544.

Cohen M, Ronchail J, Alonso-Roldan M, Morcel C, Angles S, Araque-Jimenez E, Labat D. 2014. Adaptability of Mediterranean Agricultural Systems to Climate Change. The Example of the Sierra Magina Olive-Growing Region (Andalusia, Spain). Part I: Past and Present. *Weather Climate and Society* 6:380-398.

Dusza Y., Pacteau C. & Abbadie L. 2015. Toitures végétalisées et services écosytémiques : état de l'art. Dans *Toit urbain, les défis énergétique et écosystémique d'un nouveau territoire*. Presses universitaires de Laval.

Eglin T, et al. 2010. Historical and future perspectives of global soil carbon response to climate and land-use changes. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology* 62:700-718.

Eglin, T., Ciais, P., Piao, S. L., Barré, P., Belassen, V., Cadule, P., Chenu, C., Gasser, T., Reichstein, M. and Smith, P. 2011. Overview on Response of Global Soil Carbon Pools to Climate and Land-Use Changes, in *Sustaining Soil Productivity in Response to Global Climate Change: Science, Policy, and Ethics* (eds T. J. Sauer, J. M. Norman and M. V. K. Sivakumar), Wiley-Blackwell, Oxford, UK. doi:0.1002/9780470960257.ch13

Gao J, Masson-Delmotte V, Yao T, Tian L, Risi C, Hoffmann G. 2011. Precipitation Water Stable Isotopes in the South Tibetan Plateau: Observations and Modeling. *Journal of Climate* 24:3161-3178.

Gerardeaux E, Sultan B, Palai O, Guiziou C, Oettli P, Naudin K. 2013. Positive effect of climate change on

cotton in 2050 by CO₂ enrichment and conservation agriculture in Cameroon. *Agronomy for Sustainable Development* 33:485-495.

Guenet B, Eglin T, Vasilyeva N, Peylin P, Ciais P, Chenu C. 2013. The relative importance of decomposition and transport mechanisms in accounting for soil organic carbon profiles. *Biogeosciences* 10:2379-2392.

Guimberteau M, Ronchail J, Espinoza JC, Lengaigne M, Sultan B, Polcher J, Drapeau G, Guyot JL, Ducharne A, Ciais P. 2013. Future changes in precipitation and impacts on extreme streamflow over Amazonian sub-basins. *Environmental Research Letters* 8 (art. 014035):13.

Guyennon A, Baklouti M, Diaz F, Palmieri J, Beuvier J, Lebaupin-Brossier C, Arsouze T, Béranger K, Dutay JC, Moutin T. 2015. New insights into the organic carbon export in the Mediterranean Sea from 3-D modeling. *Biogeosciences Discuss.* 12:6147-6213.

Hamdi S, Moyano F, Sall S, Bernoux M, Chevallier T. 2013. Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions. *Soil Biology & Biochemistry* 58:115-126.

Huon S, de Rouw A, Bonte P, Robain H, Valentin C, Lefevre I, Girardin C, Le Troquer Y, Podwojewski P, Sengtaheuanghoung O. 2013. Long-term soil carbon loss and accumulation in a catchment following the conversion of forest to arable land in northern Laos. *Agriculture Ecosystems & Environment* 169:43-57.

Kattge J, et al. 2011. TRY - a global database of plant traits. *Global Change Biology* 17:2905-2935.

Lacombe G, Pierret A, Hoanh CT, Sengtaheuanghoung O, Noble AD. 2010. Conflict, migration and land-cover changes in Indochina: a hydrological assessment. *Ecohydrology* 3:382-391.

Lestrelin G, Vigiak O, Pelletreau A, Keohavong B, Valentin C. 2012. Challenging established narratives on soil erosion and shifting cultivation in Laos. *Natural Resources Forum* 36:63-75.

Michelot A, Breda N, Damesin C, Dufrene E. 2012. Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management* 265:161-171.

Michelot A, Eglin T, Dufrene E, Lelarge-Trouverie C, Damesin C. 2011. Comparison of seasonal variations in water-use efficiency calculated from the carbon isotope composition of tree rings and flux data in a temperate forest. *Plant Cell and Environment* 34:230-244.

Michelot A, Simard S, Rathgeber C, Dufrene E, Damesin C. 2012. Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus*

sylvatica, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology* 32:1033-1045.

Moyano FE, Manzoni S, Chenu C. 2013. Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. *Soil Biology & Biochemistry* 59:72-85.

Moyano FE, et al. 2012. The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. *Biogeosciences* 9:1173-1182.

Oettli P, Sultan B, Baron C, Vrac M. 2011. Are regional climate models relevant for crop yield prediction in West Africa? *Environmental Research Letters* 6 (art. 014008):9.

Pacteau C., Grafakos S. & Delgado, M. In press. Integration of climate adaptation and mitigation: Towards transformative climate compatible urban development pathways, *Second UCCRN Assessment Report on Climate Change and Cities* (ARC3-2). Cambridge University Press.

Pacteau C, (2015). La recherche fondamentale et l'étude de la cité. Dans *Toit urbain, les défis énergétique et écosystémique d'un nouveau territoire*. Presses universitaires de Laval

Patin J, Mouche E, Ribolzi O, Chaplot V, Sengtaheuanghoung O, Latsachak KO, Soulileuth B, Valentin C. 2012. Analysis of runoff production at the plot scale during a long-term survey of a small agricultural catchment in Lao PDR. *Journal of Hydrology* 426:79-92.

Rankovic, A., Pacteau, C., & Abbadie, L. 2012. Trames vertes : le point de vue de l'écologie fonctionnelle, Hors-série. *Adaptation aux changements climatiques et trames vertes: quels enjeux pour la ville ?* Vertigo.

Ribolzi O, Cuny J, Sengsoulichanh P, Mousques C, Soulileuth B, Pierret A, Huon S, Sengtaheuanghoung O. 2011. Land Use and Water Quality Along a Mekong Tributary in Northern Lao PDR. *Environmental Management* 47:291-302.

Ribolzi O, Patin J, Bresson LM, Latsachack KO, Mouche E, Sengtaheuanghoung O, Silvera N, Thiebaut JP, Ronchail J, Cohen M, Alonso-Roldan M, Garcin H, Sultan B, Angles S. 2014. Adaptability of Mediterranean Agricultural Systems to Climate Change: The Example of the Sierra Magina Olive-Growing Region (Andalusia, Spain). Part II: The Future. *Weather Climate and Society* 6:451-467.

Roudier P, Sultan B, Quirion P, Berg A. 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 21:1073-1083.

Ruffault J, Martin-StPaul NK, Duffet C, Goge F,

- Mouillot F. 2014. Projecting future drought in Mediterranean forests: bias correction of climate models matters! *Theoretical and Applied Climatology* 117:113-122.
- Rust HW, Vrac M, Lengaigne M, Sultan B. 2010. Quantifying Differences in Circulation Patterns Based on Probabilistic Models: IPCC AR4 Multimodel Comparison for the North Atlantic. *Journal of Climate* 23:6573-6589.
- Rust HW, Vrac M, Sultan B, Lengaigne M. 2013. Mapping Weather-Type Influence on Senegal Precipitation Based on a Spatial-Temporal Statistical Model. *Journal of Climate* 26:8189-8209.
- Saqalli M, et al. 2015. Backward waters, modern waters: Perception-Based Regional Mapping territory uses and water-related sanitary stakes in Luang Phabang area (Lao PDR). *Applied Geography* 60:184-193.
- Shi C, Daux V, Zhang QB, Risi C, Hou SG, Stievenard M, Pierre M, Li Z, Masson-Delmotte V. 2012. Reconstruction of southeast Tibetan Plateau summer climate using tree ring delta O-18: moisture variability over the past two centuries. *Climate of the Past* 8:205-213.
- Shi CM, Masson-Delmotte V, Daux V, Li ZS, Zhang QB. 2010. An unstable tree-growth response to climate in two 500 year chronologies, North Eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Dendrochronologia* 28:225-237.
- Shi CM, et al. 2011. Sampling strategy and climatic implications of tree-ring stable isotopes on the southeast Tibetan Plateau. *Earth and Planetary Science Letters* 301:307-316.
- Stefanon M, Martin-StPaul NK, Leadley P, Bastin S, Dell'Aquila A, Drobinski P, Gallardo C. 2015. Testing climate models using an impact model: what are the advantages? *Climatic Change* 131:649-661.
- Stefanon M, Schindler S, Drobinski P, de Noblet-Ducoudre N, D'Andrea F. 2014. Simulating the effect of anthropogenic vegetation land cover on heatwave temperatures over central France. *Climate Research* 60:133-146.
- Sultan B, Roudier P, Quirion P, Alhassane A, Muller B, Dingkuhn M, Ciais P, Guimberteau M, Traore S, Baron C. 2013. Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environmental Research Letters* 8 (art. 014040):9.
- Valentin C. 2011. Impact of slope gradient on soil surface features and infiltration on steep slopes in northern Laos. *Geomorphology* 127:53-63.
- Virto I, Barre P, Burlot A, Chenu C. 2012. Carbon input differences as the main factor explaining the variability in soil organic C storage in no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. *Biogeochemistry* 108:17-26.
- Yao TD, et al. 2013. A review of climatic controls on delta O-18 in precipitation over the Tibetan Plateau: observations and simulations. *Reviews of Geophysics* 51 (art. 2012rg000427):24.

Changement climatique et santé

Coordinateur : S. Godin Beekmann

Contributeurs : Y. Balkanski (RADIOCLIMFIRE)
G. Bergametti
D. Hauglustaine (A-C HIA)
S. Jousaume (CLIMVIB)
E. Mahé (EXPO UV)
B. Marticorena (ADCEM)
A. Mollers (RADIOCLIMFIRE)
P. Monfort (CLIMVIB)
S. Morand
C. Pachteau
M. de Paula Correa (RISC UV - EREBUS)
P. Saiag (RISC UV)
R. Vautard
N. Viovy (PAC)

Changement climatique et santé

INTRODUCTION

Parmi les nombreux impacts du changement climatique en cours et à venir susceptibles d'affecter les systèmes naturels et humains, les questions de santé occupent une place grandissante dans les études scientifiques. Le changement climatique influe sur les déterminants environnementaux et certains déterminants sociaux de la santé des populations humaines. Les impacts sur la santé peuvent être directs, en liaison avec la hausse progressive des températures ou l'occurrence accrue d'événements extrêmes (vagues de chaleur, périodes de sécheresse, inondations), qui peuvent induire des traumatismes physiques ou via un changement dans l'exposition au rayonnement ultraviolet. Les impacts peuvent aussi être indirects, par le biais d'un changement de la qualité de l'air respiré, de la qualité de l'eau absorbée, ou via l'évolution spatiale et temporelle des zones de viabilité des agents pathogènes (bactéries, virus, parasites vecteurs), ou de dispersion d'agents allergisants (pollens...). Un troisième type d'effet est lié à la déstabilisation de groupes sociaux induite par le changement climatique, tel que le déplacement de populations à la suite d'épisodes de sécheresse prolongée, et qui sont susceptibles d'affecter la santé des populations concernées ainsi que le système de santé.

Les différents rapports internationaux attestent de l'amélioration significative de l'espérance de vie des populations dans la plupart des régions du monde au cours du XX^{ème} siècle (Smith et al. 2014). Si la progression a été rapide dans certains pays comme la Chine notamment, du fait de son développement économique, la plupart des pays ont bénéficié d'une réduction substantielle de la mortalité. Une grande disparité demeure cependant entre et à l'intérieur des pays, en liaison avec les conditions de vie des populations et leur accès au système de soin. A cet égard, le changement climatique peut être considéré comme un facteur parmi d'autres de la vulnérabilité des populations et ses effets sont systématiquement modulés par les conditions sociales (inégalités économiques, conflits) et par l'état du système de santé qui joue un rôle déterminant dans la résilience des différents groupes sociaux.

Dans ce contexte, différents projets de recherche ont été menés dans le cadre du GIS Climat. Ils ont été, pour la plupart, des « projets-tremplin » destinés à défricher les différentes problématiques relatives aux impacts du changement climatique sur la santé. Ils ont concerné tant les impacts directs du changement climatique sur la santé que les impacts indirects. Plusieurs problématiques de santé ont été abordées, comme l'exposition aux températures extrêmes, au rayonnement ultraviolet ou à la pollution de l'air, les allergies respiratoires, les épidémies de méningite dans le Sahel, la dynamique de pathogènes reliée à des précipitations événementielles

ou bien l'augmentation du risque de radioactivité due à des feux de forêt en Europe orientale. Par ailleurs, de nombreuses actions d'animation ont été entreprises afin de permettre aux différentes communautés travaillant sur les problématiques de santé de mieux se connaître, de renforcer les collaborations entre médecins, physiciens du climat et acteurs de santé publique en Île de France, d'analyser les relations climat-écologie-santé et de favoriser les approches interdisciplinaires. Plusieurs colloques sur le thème changement climatique et santé ont été organisés et ont permis de mieux structurer la communauté scientifique concernée par cette problématique.

PARAMÈTRES PHYSIQUES DU CLIMAT

Rayonnement UV et cancers cutanés

RISC-UV, EXPO-UV et EREBUS

La question de l'augmentation du rayonnement UV de surface a fait l'objet de nombreuses études par le passé en raison des inquiétudes suscitées par la découverte du trou d'ozone antarctique et l'appauvrissement global de la couche d'ozone. Il a été démontré que cet appauvrissement était dû à l'émission massive par l'industrie chimique de substances halogénées (les chlorofluorocarbures et les halons). Ces émissions ont été réglementées par le Protocole de Montréal, et la couche d'ozone est en voie de reconstitution, enravant ainsi l'augmentation observée du rayonnement UV de surface. Le changement climatique affecte également le rayonnement solaire ultraviolet (UV) reçu au sol en agissant sur les paramètres environnementaux qui le contrôlent. Ces paramètres sont principalement le contenu atmosphérique d'ozone et d'aérosols, la couverture nuageuse et la réflectivité de surface (albédo).

L'exposition au rayonnement ultraviolet a des effets bénéfiques ou néfastes sur la santé suivant la quantité et la longueur d'onde du rayonnement reçu¹. Cette quantité dépend de facteurs d'ordres environnementaux et comportementaux contrôlant la dose individuelle reçue. Du point de vue des effets bénéfiques, l'exposition aux UV est essentielle pour la synthèse de la vitamine D, une hormone à synthèse avant tout cutanée et nécessaire à la régulation du métabolisme du calcium, au remodelage osseux, ainsi qu'au contrôle de la prolifération cellulaire et des réponses immunitaires. Le temps d'exposition nécessaire à la synthèse de la vitamine D peut varier en fonction des conditions atmosphériques, de la surface de peau exposée, de l'âge, des conditions de santé, et du phototype. Ce dernier paramètre permet de classer les individus selon la réaction de

¹ Ce rayonnement est constitué à 2% par les UVB les plus énergétiques, de longueur d'onde comprise entre 280 et 315 nm et à 98 % par les UVA de longueur d'onde comprise entre 315 et 400 nm.

leur peau lors d'une exposition aux UV. Il en existe six, caractérisant les différents types de peaux, de la peau laiteuse des personnes rousses qui ne bronzent pas aux peaux noires qui ne prennent jamais de coup de soleil. Par ailleurs, la pigmentation adaptative (le bronzage) concourt à un certain confort social et psychologique dans nos sociétés. Enfin, les UV sont régulièrement utilisés dans le traitement de maladies dermatologiques telles que le psoriasis, le prurigo ou les lymphomes cutanés T.

A *contrario*, une exposition trop importante au rayonnement UV peut induire des maladies ophtalmologiques (cataractes, kératites, dégénérescences maculaires) ou dermatologiques. Outre l'érythème actinique (coup de soleil), les problèmes dermatologiques incluent le vieillissement de la peau, la photocarcinogénèse cutanée et l'immunosuppression. La photocarcinogénèse cutanée, liée principalement aux UVB mais aussi aux UVA, induit deux types de cancers : le mélanome dont l'incidence double tous les dix ans dans le monde entier pour les populations à peau blanche avec un ralentissement récent dans certains pays comme l'Australie ou la Nouvelle Zélande, et les carcinomes cutanés.

Le mélanome est une forme grave de cancer de la peau liée aux expositions au rayonnement UV intermittentes de l'enfant et de l'adulte jeune, et très difficile à traiter aux stades avancés. En France, son incidence est passée de 3 cas pour 100 000 environ à 10 cas pour 100 000 entre 1980 et 2011. Touchant principalement l'adulte d'âge moyen (50-55 ans en moyenne), il est responsable d'environ 1600 décès par an. Les carcinomes cutanés (principalement carcinomes baso-cellulaires et épidermoïdes) sont quant à eux de loin les plus fréquents et sont clairement associés aux expositions chroniques au rayonnement UV. Ces cancers ont aussi vu une augmentation importante de leur incidence au cours des dernières décennies. Ils sont rarement mortels, mais atteignant souvent le visage, ils posent des problèmes de séquelles après exérèse chirurgicale. Dans des pays comme le Brésil, les carcinomes sont devenus un problème de santé publique, les différents types de carcinomes représentant plus de 30 % des cas de cancer diagnostiqués chaque année.

L'immunosuppression est, quant à elle, souvent transitoire (quelques semaines) et induite par de faibles doses d'UVA et UVB. Elle explique l'augmentation de certaines infections en période estivale : herpès, impétigo, ou pityriasis versicolor.

Plus récemment, des études médicales dont les résultats sont discutés, se sont focalisées sur les bénéfices de l'exposition au rayonnement UV, en liaison avec la synthèse de la vitamine D. Outre la prévention de l'ostéoporose et du rachitisme, ces études suggèrent l'intérêt de la vitamine D dans la prévention du diabète, des maladies cardiaques, dans la régulation de l'apoptose cellulaire, la réduction du risque de sclérose en plaques ainsi

que dans la prévention de plusieurs types de cancers comme le lymphome non-hodgkinien, le cancer colorectal, de la prostate, et du sein. Certaines études suggèrent aussi paradoxalement un effet protecteur de l'exposition au soleil sur la mortalité par mélanome avec une amélioration du pronostic du mélanome avec survie sans récurrence chez les patients ayant au moment du diagnostic un taux sérique plus élevé de vitamine D.

Ainsi, en grande partie par l'intermédiaire de la synthèse cutanée de la vitamine D, le rayonnement UV a à la fois un rôle bénéfique et un rôle néfaste sur la santé, dans un contexte d'enjeux économiques importants, en liaison notamment avec l'industrie du bronzage, d'incertitudes sur les besoins de vitamine D, et aussi de carence de données exploitables médicalement sur les doses reçues par les humains. Les services de santé, se basant essentiellement sur des études de prévention du rachitisme et de l'ostéoporose, recommandent des doses quotidiennes de 400 UI de vitamine D, mais des travaux récents suggèrent que des doses plus élevées (1000 UI) sont nécessaires pour une protection efficace de la santé.

Sur ce thème, le projet RISC-UV a eu pour objectif d'évaluer les doses UV reçues au sol dans différents environnements. Lors d'une campagne de mesures organisée sur le site expérimental de l'IPSL à Palaiseau, les mesures de rayonnement UV obtenues à partir de dosimètres personnels, des radiomètres à bande large et des instruments satellitaires ont été comparées à celles de l'instrument de référence – un spectrophotomètre mesurant la densité spectrale du rayonnement UV. Les radiomètres à bande large sont généralement utilisés pour l'évaluation des doses de rayonnement UVB et UVA reçues au sol tandis que les mesures satellitaires sont utilisées pour établir les indices UV à destination du public. Certains dosimètres individuels testés, en vente pour le grand public dans le commerce, se sont révélés peu précis, surévaluant les doses reçues (Correa et al., 2010). La campagne a montré que les valeurs d'indice UV fournies par le modèle MOCAGE de Météo-France pouvaient présenter des biais en cas de couverture nuageuse. Il a également été mis en évidence que le rayonnement reçu au sol n'est atténué significativement qu'à partir d'une couverture nuageuse supérieure à 70 %, certains types de nuages fractionnés pouvant même jouer un rôle amplificateur du rayonnement UV (Jégou et al., 2011). En mai et juin 2009, une campagne de mesure de l'indice UV organisée avec des volontaires en différents lieux touristiques de Paris a permis d'évaluer les différences d'exposition suivant la configuration du lieu. Des écarts d'indice UV d'environ 40 % ont été relevés entre les mesures obtenues sur des parvis, dans les rues ou dans les jardins, qui se sont traduits par des différences de plus de 50 % sur la dose érythémateuse cumulée après quatre heures d'exposition et des variations de 20 à 45 minutes

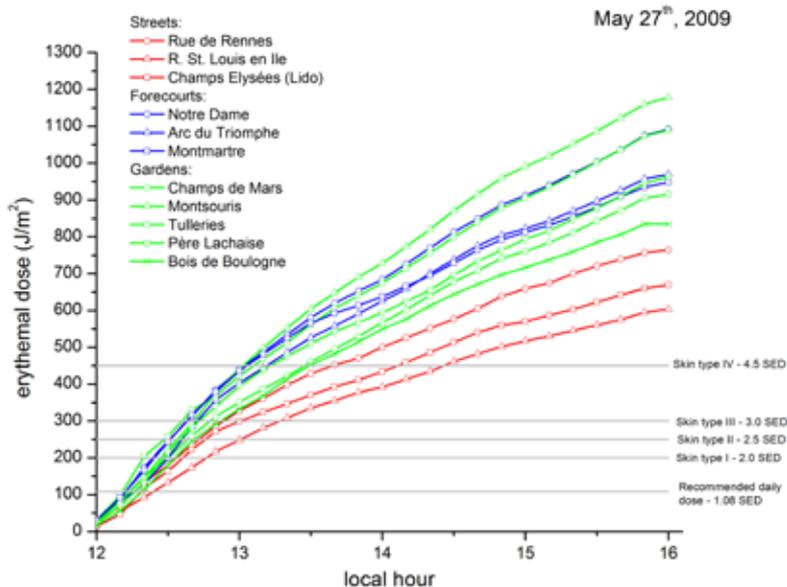


Figure 1 : Évolution de la dose érythémateuse reçue en fonction de la durée d'exposition (débutée à 12h) dans différents sites parisiens le 27 mai 2009 en conditions ensoleillées.

de la durée d'exposition nécessaire à l'apparition d'un érythème chez les personnes de phototype clair. Ces écarts sont illustrés dans la Figure 1 qui représente les doses érythémateuses cumulées dans les différents environnements de Paris sondés le 27 mai 2009. L'étude a aussi montré que même à l'ombre, dans les jardins et parvis de Paris, les conditions d'apparition d'un érythème peuvent être réunies pour ces personnes après 100 à 160 minutes d'exposition (Mahé et al., 2012).

En termes de prévention, plusieurs études interdisciplinaires ont été menées qui ont permis un dialogue entre physiciens du climat, dermatologues, spécialistes de santé publique et responsables politiques. Les protocoles ont associé mesures physiques, évaluations des risques et études comportementales. Ainsi, la réduction de l'indice UV effectif de personnes situées à l'ombre a été mesurée, mettant en évidence que l'ombre (notamment celle des bâtiments) est généralement un mauvais photo-protecteur, alors que les campagnes de prévention insistent sur son rôle. En outre, une étude sur l'exposition de jeunes footballeurs a permis de préciser la dose érythémateuse minimale (DEM)² en fonction des phototypes : les joueurs à la peau claire peuvent ainsi dépasser dix fois la dose en une journée (Mahé et al., 2011). Une étude a également été conduite dans une école d'Antony qui a permis de conclure que les comportements de protection solaire sont

inadaptés quels que soient les lieux fréquentés par les enfants. Ces différents travaux ont mis en évidence les lacunes des mesures de protections des enfants et des adultes par rapport au soleil, suggérant que le risque solaire et la prévention associée ne sont pas correctement pris en compte en Île de France. Bien que le risque solaire soit important entre les mois de mai et septembre, peu de campagnes et de moyens de prévention sont développés dans cette région, montrant ainsi les limites des messages de prévention.

Du point de vue des effets bénéfiques du rayonnement UV, un certain nombre d'études indiquent qu'en automne et en hiver, la durée d'exposition nécessaire pour

synthétiser 1000 unités de vitamine D en Europe tempérée est généralement plus longue que la durée suffisante pour provoquer un érythème. Les mesures de rayonnement UV effectuées dans le cadre du projet RISC-UV nous ont permis de confirmer ces résultats en région parisienne, ainsi que le montre la Figure 2.

Afin d'évaluer comment ces deux durées évolueront en Europe en fonction du changement climatique, des simulations des doses érythémateuses et des doses de synthèse de vitamine D ont été effectuées dans le cadre du projet EREBUS à partir d'un modèle radiatif et des résultats des simulations par le modèle de climat IPSL-CM5 ESM des paramètres contrôlant le rayonnement UV de ciel clair (principalement les contenus intégrés

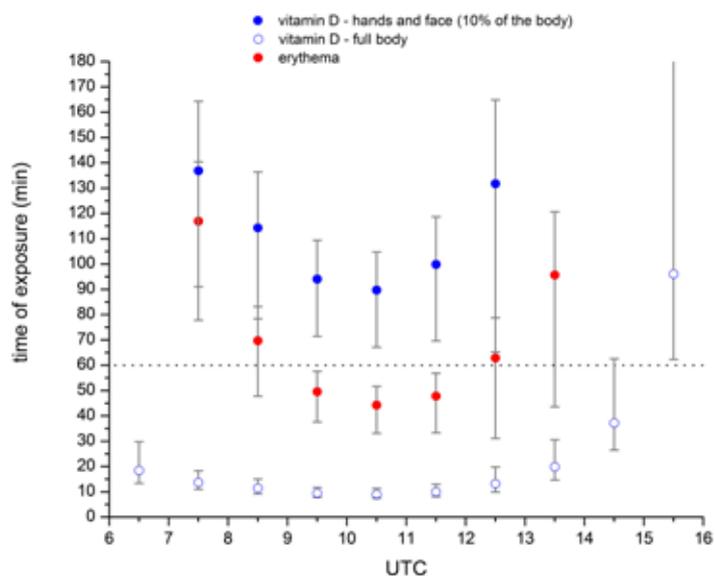


Figure 2 : Temps nécessaire pour synthétiser 1000 UI de vitamine D (points bleus et blanc) et pour développer un érythème (points rouges) à Paris, en septembre-octobre 2008.

² Dose minimale de rayonnement pour l'apparition d'un érythème.

d'ozone et d'aérosols). Ces simulations ont utilisé à la fois les mesures réglementaires du Protocole de Montréal quant à la réduction d'émission des constituants appauvrissant la couche d'ozone et les différents scénarios de changement climatique. Les résultats montrent que la reconstitution de la couche d'ozone prévue dans le courant du XXI^{ème} siècle, aura pour effet de réduire le rayonnement UV à la surface de façon plus ou moins importante suivant les scénarios climatiques. A contrario, la diminution des concentrations d'aérosols induite par la réglementation des futures émissions de particules liées aux activités humaines aura pour effet d'augmenter le rayonnement UV. Les résultats des simulations montrent alors des résultats contrastés entre la synthèse de vitamine D et l'apparition d'érythèmes. Dans le premier cas, la durée d'exposition nécessaire pour synthétiser la vitamine D augmente pour tous les scénarios de changement climatique. En effet, la synthèse de vitamine D étant principalement contrôlée par le contenu d'ozone, c'est l'augmentation du contenu en ozone qui est le facteur dominant dans l'évolution future du rayonnement UV. Dans le cas de l'érythème, les doses UV sont davantage sensibles à l'effet des aérosols. Cet effet prédomine dans le cas du scénario de faible changement climatique qui est également caractérisé par une augmentation plus faible de l'ozone et les simulations prévoient une diminution de la durée d'exposition nécessaire à l'apparition d'un érythème en été. Pour tous les autres scénarios, l'augmentation plus importante du contenu en ozone se traduit, *a contrario*, par une augmentation de cette durée d'exposition (Correa et al., 2013).

Extrêmes de température et impacts sur la mortalité

Le GIS CES a permis d'établir une collaboration avec l'Université de Columbia (P. Kinney) et d'inviter Joel Schwartz (Harvard), deux spécialistes d'épidémiologie environnementale. En plus des sujets sur la qualité de l'air, les discussions ont fait émerger des questions intéressantes et nouvelles concernant les extrêmes de température, leur évolution avec le changement climatique, et la mortalité. Les liens entre température et mortalité sont assez

bien établis, et la modification des distributions de température avec le changement climatique pose la question des effets sur la mortalité. Une équipe du GIS Climat réunie autour de ces spécialistes et de scientifiques de l'Institut national de veille sanitaire (InVS) a pu étudier quelques questions originales et publier trois articles sur ces sujets (Kinney et al., 2012 ; Lee et al., 2014 ; Kinney et al., 2015).

Les vagues de chaleur sont connues pour être à l'origine d'une surmortalité estivale, due à des effets d'hyperthermie, de déshydratation, des troubles cardio-vasculaires. De nombreuses études ont étudié le lien entre surmortalité et températures extrêmes, et les courbes de composites de surmortalité en fonction de la température représentées en Figure 3 (courbes noires) pour les villes de Paris et New York le montrent (Kinney et al., 2015). Une surmortalité brutale est observée dans chaque ville (de nombreuses villes ont été étudiées), au-delà d'un seuil de température dépendant de l'exposition des habitants et de leur vulnérabilité aux fortes chaleurs.

On note également que les froids marqués produisent également une surmortalité. Il est alors légitime de se poser la question de l'impact net d'un changement de la distribution des températures sur la mortalité. En effet, en l'absence d'adaptation, une augmentation de la mortalité due à la chaleur plus fréquente pourrait être compensée par une diminution de la mortalité due à des périodes froides moins fréquentes.

Les travaux que nous avons menés dans ce domaine ont montré que cette question ne pouvait pas être résolue simplement à l'aide de la courbe température – surmortalité, ce qui est pourtant souvent effectué. En effet, des effets de saisonnalité interviennent. La première étude (Lee et al., 2014) montre par exemple qu'une même température basse ou élevée n'a pas le même effet selon le moment de la saison. L'analyse statistique de données sur un ensemble de villes américaines montre en effet que les températures extrêmes ont plus d'impact en début de saison qu'en fin de saison.

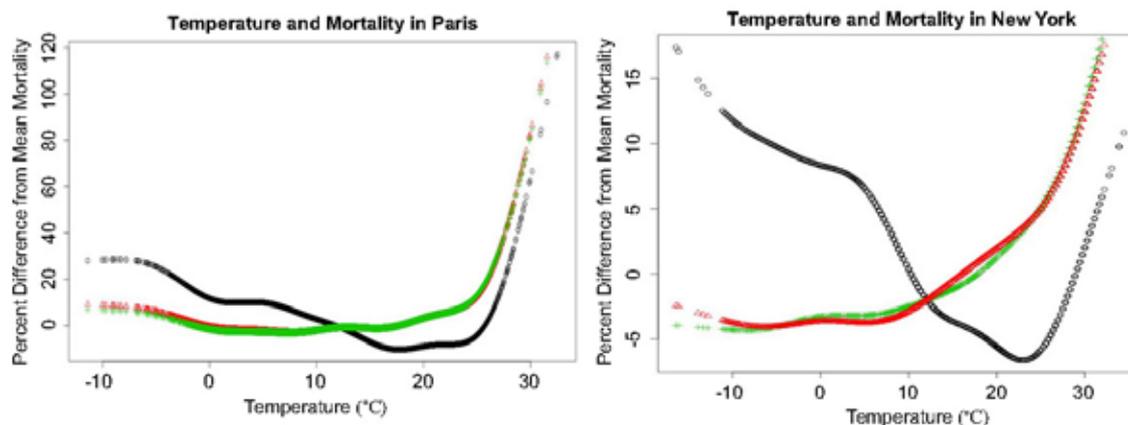


Figure 3 : Surmortalité en fonction de la température pour deux villes (Paris et New York), sans prendre en compte les effets saisonniers (en noir) et en prenant en compte ces effets (courbes rouge et verte, avec des paramètres de modélisation différents) ; pour plus de détail voir Kinney et al. (2015) d'où la figure est tirée.

La seconde étude (Kinney et al., 2015) montre que le lien température – mortalité sur les épisodes froids est beaucoup moins clair que pour les épisodes chauds lorsque la saisonnalité est correctement prise en compte. Les courbes rouges et vertes de la Figure 3 montrent la relation température – surmortalité lorsqu'un facteur de saisonnalité est introduit dans le modèle de surmortalité. Elles montrent que la surmortalité induite par les basses températures est due en grande partie à des phénomènes saisonniers, qui peuvent être par exemple la grippe. En revanche, l'effet des vagues de chaleur persiste lorsque la saisonnalité est prise en compte.

La conséquence de ces résultats est que la plus grande fréquence des vagues de chaleur futures aurait probablement (en l'absence d'adaptation), un effet négatif plus fort que l'effet positif de la moins grande fréquence des vagues de froid, induisant une dissymétrie dans la sensibilité de la mortalité à la température.

COMPOSITION ATMOSPHÉRIQUE ET QUALITÉ DE L'AIR

La pollution de l'air est un problème majeur de santé publique touchant aussi bien les pays développés que ceux en développement. L'exposition des populations à des niveaux élevés d'ozone et de particules fines, particulièrement les particules de type $PM_{2,5}$ (d'un diamètre inférieur à 2,5 micromètres) sont bien documentées, en particulier concernant les risques de morts prématurées dues aux maladies cardiovasculaires et aux cancers, notamment aux États-Unis et en Europe. Elle cause des inflammations et, pour certaines, des stress oxydatifs, car elles contiennent des métaux et des molécules perturbant l'équilibre de la cellule. Certaines particules sont aussi mutagènes et cancérigènes ; c'est par exemple le cas des particules émises par les moteurs diesels, que le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), de l'Organisation mondiale de la santé, a classées en juin 2012 parmi les cancérigènes avérés. Les études épidémiologiques confirment cet impact sanitaire. Les concentrations ambiantes en particules varient de conserve avec divers paramètres (nombre de décès d'origine cardiopulmonaires, nombre d'admissions aux urgences, etc.).

Réduire l'exposition des populations aux polluants atmosphériques nécessite de diminuer les émissions de polluants gazeux et particulaires ce qui constitue un des douze objectifs du second plan national Santé-Environnement. Par ailleurs, il doit être noté que la réduction des émissions polluantes peut également être bénéfique pour la lutte contre le changement climatique en particulier en ce qui concerne les précurseurs de l'ozone troposphérique et le carbone suie.

De nombreuses questions subsistent par ailleurs. Les mécanismes de toxicité ne sont pas complètement élucidés. La quantité de particules auxquelles nous

sommes exposés et leurs effets à long terme doivent être précisés. L'impact sanitaire des particules est à distinguer plus finement de celui des autres polluants dans le cas d'expositions multiples. Enfin, les liens entre changement climatique et risques sanitaires liés à la qualité de l'air doivent être mieux cernés, notamment pour des substances d'origine biologique (pollens, bactéries pathogènes, etc...).

Les projets soutenus par le GIS Climat ont visé à soutenir des recherches fédératives sur ces différentes questions en suspens.

Qualité de l'air A-C HIA

L'objectif général du projet A-C HIA était d'appliquer des modèles de climat, de qualité de l'air et de santé afin d'évaluer les éventuels impacts sur la santé de l'évolution de l'ozone troposphérique et des $PM_{2,5}$ pour différents scénarios de changement climatique (Likhvar et al., 2015). Les impacts sanitaires ont été évalués à trois échelles différentes (mondiale, européenne et locale) en prenant en compte deux scénarios d'émission et en examinant les modifications de concentration prévisibles en fonction des conditions actuelles et des conditions futures. Les impacts sur la santé ont été modélisés en tenant compte de l'évolution de la population et en se référant aux taux de mortalité constatés. La méthode utilisée pour le calcul de l'impact de la pollution sur la santé se base sur l'évolution des concentrations de polluants atmosphériques en utilisant une fonction concentration-réponse (CRF) obtenue à partir d'études épidémiologiques. Pour $PM_{2,5}$, nous avons utilisé la CRF fournie par une méta-analyse récente (Hoek et al., 2013). Pour l'ozone, nous avons utilisé le risque relatif de maladie respiratoire basé sur Jerrett et al. (2009). Les impacts ont été calculés aux horizons 2030 et 2050 pour le monde et l'Europe, et pour 2050 en ce qui concerne l'Île-de-France. Ils prennent en compte la mortalité due aux maladies cardio-vasculaires (MCV) liées aux $PM_{2,5}$ et celle due aux affections respiratoires liées à la concentration en ozone troposphérique en été. Le scénario d'émission CLE (*emission reductions due to current legislation*) se fonde sur la baisse des réductions prévisibles compte tenu de la réglementation actuelle, pays par pays, et le scénario MFR (*maximum feasible reductions of future emissions*) sur les plus fortes réductions réalisables.

A l'échelle mondiale, comme le montre la Figure 4, le scénario CLE conduit, à l'horizon 2030 à une baisse de la mortalité liée aux $PM_{2,5}$ en Europe centrale et en Chine, mais à une hausse en Inde où la concentration en $PM_{2,5}$ augmente fortement pour le scénario considéré. En termes de surmortalité liés à l'ozone, il prédit une hausse en Chine et en Inde, mais une certaine baisse en Europe et aux États-Unis. Selon le scénario MFR, les baisses de surmortalités seraient beaucoup plus étendues : en raison de la baisse des concentrations en $PM_{2,5}$, elles concerneraient l'Europe, l'Asie centrale ainsi que la majorité de la population de Chine et d'Inde. Pour les effets liés à l'ozone, elles

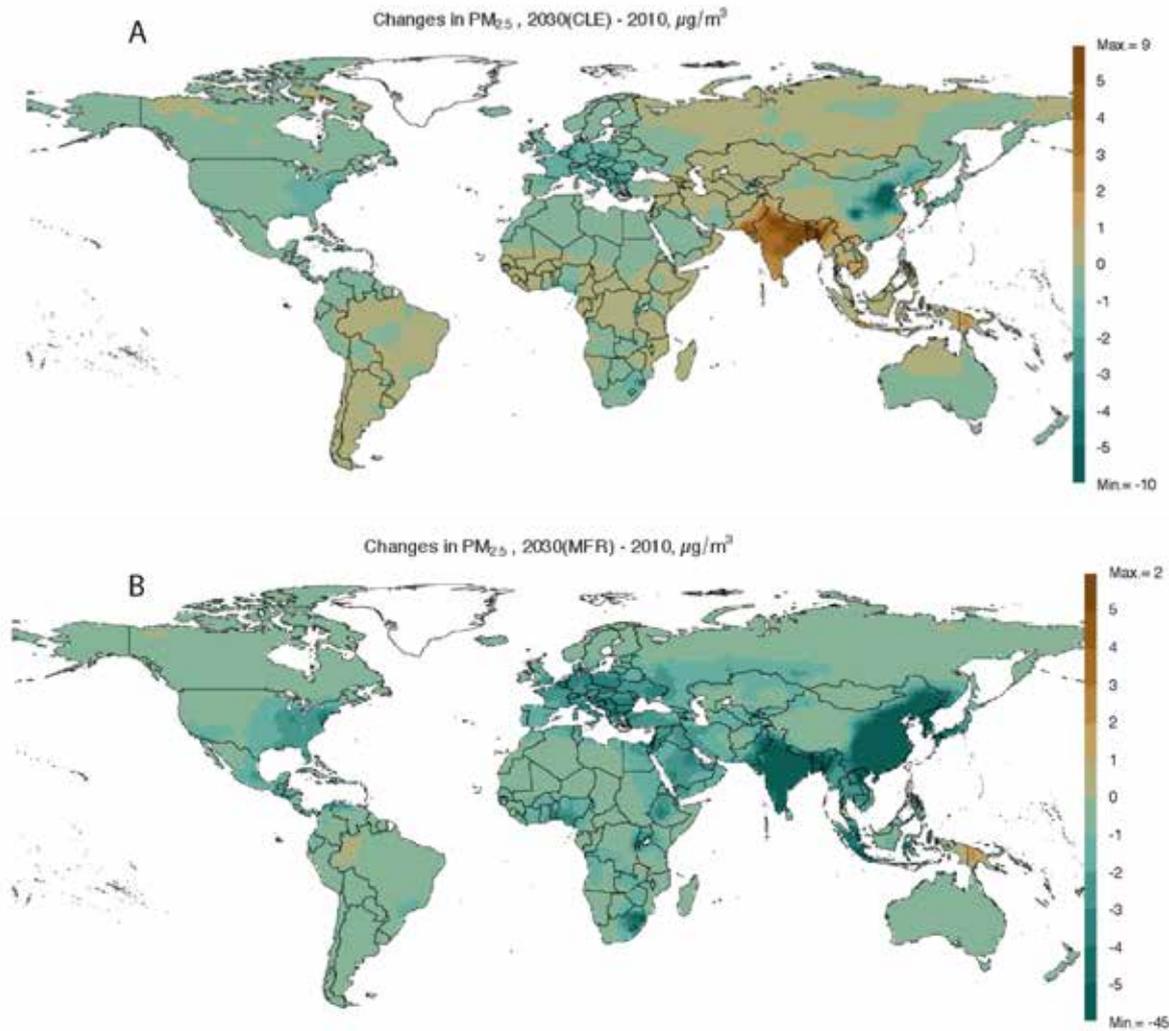


Figure 4 : Évolution des concentrations annuelles de particules fines ($PM_{2.5}$) en 2030 par rapport à 2010, estimée selon le scénario de mise en œuvre des réglementations actuelles (A) et selon le scénario baisse maximale techniquement faisable (B).

concerneraient la quasi-totalité de l'Asie de l'Est et du Sud-Est, ainsi que les États-Unis, l'Argentine et l'Afrique du Sud.

En Europe, les scénarios CLE et MFR apportent en 2030 une baisse des impacts liés aux deux types de pollutions considérés. L'étude à l'échelle européenne laisse prédire des impacts positifs plus forts pour l'Europe que l'étude mondiale, ce qui corrobore les résultats d'articles récents publiés notamment à propos des États-Unis. En matière de MCV, les effets sont particulièrement bénéfiques pour les pays situés dans le triangle formé par la Belgique, la Roumanie et les pays baltes. Ils seraient encore plus prononcés, notamment en Allemagne et en Ukraine, selon l'hypothèse MFR. Toujours selon cette hypothèse optimiste, le centre et le sud du continent européen seraient davantage concernés par les effets bénéfiques de la réduction de la concentration en ozone. L'ampleur de ces effets peut varier considérablement d'un pays à l'autre en raison de la différence des taux de mortalité de base, qui dépend notamment de la qualité des systèmes de santé.

En Île-de-France, le resserrement de la maille de la grille permet de modéliser finement les impacts des scénarios de réduction en 2050 en fonction de la

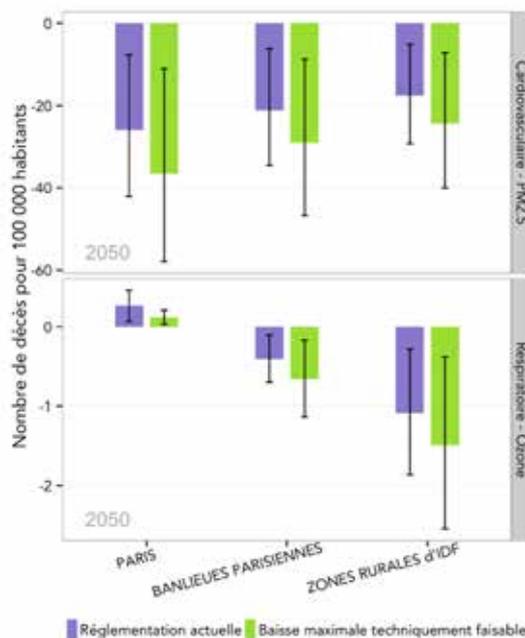


Figure 5 : Évolution du nombre de décès associés aux évolutions des particules fines et de l'ozone en Île-de-France en 2050 par rapport à 2010 (pour 100 000 habitants).

localisation de la population. Le scénario MFR apporte des bénéfices plus élevés que le scénario CLE en matière de MCV, essentiellement dans le centre de l'agglomération, où se situe l'essentiel des habitants (figure 5). Il est possible de préciser ces résultats à l'échelle d'un arrondissement de Paris. A nouveau, les impacts positifs sont plus élevés pour l'Île-de-France considérée à l'échelle régionale que lorsqu'elle est considérée à l'échelle européenne. Le modèle utilisé comporte donc un biais, probablement lié au fait que les échelles plus fines permettent de localiser les effets sur les zones les plus peuplées, mais aussi peut-être du fait que la même fonction de relation entre les concentrations et les effets sur la surmortalité a été utilisée pour toutes les échelles.

Épidémies de méningite au Sahel ADCEM

La méningite cérébro-spinale est un problème de santé publique majeur dans plusieurs pays d'Afrique composant « la ceinture méningitique » qui s'étend du Sénégal à l'Éthiopie. Le projet ADCEM a été proposé afin de développer une approche intégrée de l'étude du lien entre aérosols, climat et méningites et, à terme, de contribuer à la mise au point d'un système de prévision des conditions environnementales favorables au développement des épidémies en Afrique de l'Ouest.

Les méningites sont des inflammations des méninges dues essentiellement à la bactérie *Neisseria Meningitis*, transmise par voie aérienne. Ces maladies sont très présentes dans la bande sahélienne, marquée par un climat sec (précipitations de 300 à 1000 mm par an). Les épidémies sont observées pendant la saison sèche, de janvier à mai, avec un maximum au mois de mars. Elles impliquent principalement le sérotype A de la bactérie, mais aussi les sérotypes X et W135. 25 000 à 250 000 cas – essentiellement des enfants de moins de 15 ans – sont recensés chaque année, avec une mortalité de l'ordre de 10 % et des séquelles neurologiques importantes chez 10 à 20 % des survivants.

La région sahélienne est soumise, durant le premier trimestre de l'année, au régime d'Harmattan, vent de nord-est chaud et sec venant du Sahara. Au troisième trimestre, l'arrivée de la mousson depuis le sud-ouest soumet la région à de fortes précipitations et à un temps humide. Les épidémies se développent à l'intersaison, période pendant laquelle les températures sont très élevées et les vents relativement faibles. Les événements de poussière les plus intenses ont lieu au premier semestre et sont quasi annuels. De façon générale, les concentrations en poussières du Sahel dépassent le seuil européen de $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ plus de 300 jours par an, avec des pics pouvant atteindre près de $700 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. La dynamique de ces événements dépend beaucoup des conditions météorologiques et les concentrations en poussières restent très difficiles à prévoir.

Les hypothèses émises sur le lien entre les poussières et la méningite sont multiples. L'air chaud, sec et poussiéreux pourrait irriter les muqueuses et faciliter le passage de la bactérie, présente dans les voies naso-pharyngées, dans le système sanguin. Le phénomène pourrait aussi être favorisé par la solubilisation du fer contenu dans les poussières. Enfin, il est possible que le confinement de la population durant cette saison facilite la transmission de l'agent. Le projet ADCEM s'appuie sur la première hypothèse puisqu'à l'échelle du Niger, le décalage de deux semaines entre l'arrivée des poussières et le développement des méningites est en bon accord avec le temps d'incubation de *Neisseria Meningitis* qui est d'une dizaine de jours et que l'installation du flux de mousson et la forte augmentation de l'humidité atmosphérique coïncide avec la disparition des épidémies.

Le projet visait à évaluer le lien entre la saisonnalité de l'épidémie et les conditions atmosphériques afin de prévoir l'influence de ces conditions sur la dynamique spatiale et temporelle des épidémies. Il s'est appuyé sur les données épidémiologiques hebdomadaires de l'OMS entre 1998 et 2008, recensées par district pour le Mali, le Niger et le Burkina-Faso, pays d'Afrique de l'Ouest les plus touchés par les épidémies. Concernant les conditions atmosphériques, les données de température, d'humidité relative, et de direction et de vitesse du vent sur la même période proviennent des réanalyses ERA-Interim du Centre européen de prévisions à moyen-terme. Le contenu atmosphérique en aérosols, quant à lui, a été évalué à partir des concentrations de surface, des données de contenu intégré verticalement (épaisseur optique en aérosols) et d'indicateurs satellitaires de présence d'aérosol.

Les mesures les plus appropriées pour estimer le niveau d'exposition des personnes sont les concentrations de surface en particules mais de telles mesures ne sont disponibles que sur trois stations dans la région sahélienne. Aussi les chercheurs ont travaillé sur la possibilité d'utiliser les deux autres types de paramètres pour les représenter. La corrélation entre l'épaisseur optique en aérosols et la concentration de surface en particules n'est pas suffisante pour être utilisée de façon générale, mais elle est satisfaisante pour trois des types de temps correspondant à la saison de l'Harmattan, bien qu'il faille utiliser une pente de régression propre à chacun des types de temps pour pouvoir évaluer les concentrations de surface à partir des données d'épaisseur optique. Il a aussi fallu corriger les données issues des satellites à partir d'un biais saisonnier moyen pour être en mesure de calculer un indice d'aérosol transformé. Une série temporelle continue a ainsi été constituée. L'ensemble des données a ensuite été rassemblées pour la période 1997-2008 à l'échelle des districts, des régions et des pays et agrégé par périodes hebdomadaires.

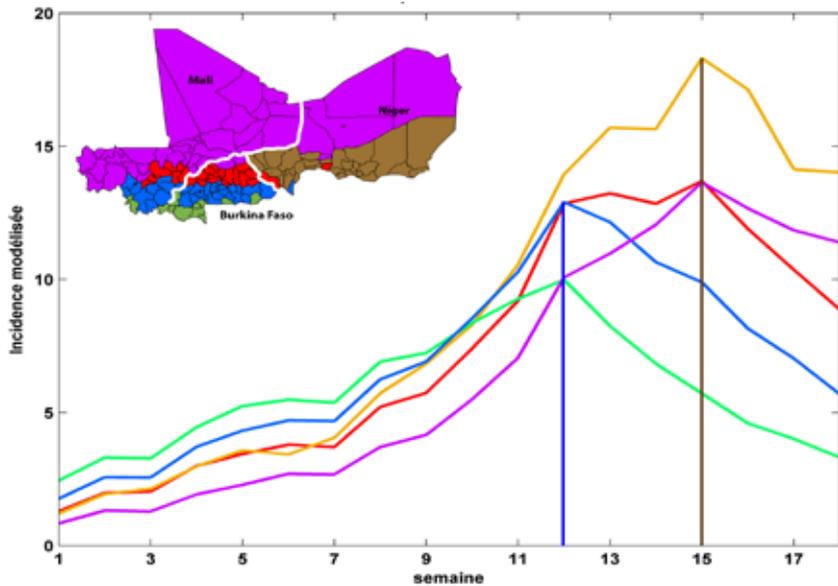


Figure 6 : Évolution temporelle de l'incidence (nombre de cas / 100000 personnes) de cas de méningite modélisée sur les trois pays ciblés (Mali, Niger, Burkina-Faso) en fonction de la température de l'air et de l'indice d'aérosols transformé pour les cinq catégories identifiées par une classification hiérarchisée (Figure adaptée de Deroubaix, al., 2013).

Les différences de phases entre les données climatiques, les charges en aérosols et les épidémies ont été identifiées par des analyses statistiques en ondelettes. A l'échelle des districts du Niger, elles ont démontré l'existence d'une opposition de phases entre les paramètres climatiques et les épidémies, mais aussi d'un décalage de phases d'une à deux semaines entre les aérosols désertiques et l'apparition des épidémies, ce qui est cohérent avec le délai d'incubation de la maladie. En second

grand poids de corrélation (température de la semaine précédente et aérosols). Le modèle fondé sur la régression ainsi obtenu explique un tiers de la variabilité de l'incidence des méningites à l'échelle des districts et des régions.

Ce modèle permet aussi de reproduire la variabilité spatiale de l'incidence des méningites à partir des données climatiques et atmosphériques, et en particulier les différences de saisonnalités observées

lieu, une analyse statistique en composantes principales a été conduite, d'abord sur les données climatiques et atmosphériques, puis en intégrant les données d'incidences des cas de méningite. A l'issue d'une analyse menée en plusieurs temps, il ressort que les années de fortes épidémies sont marquées par l'association des incidences de méningites avec la composante « poussières », ce qui démontre une forte corrélation avec l'indice des aérosols. Par ailleurs, une méthode statistique de régression linéaire multiple a été conduite pour rapprocher l'incidence des épidémies des variables climatiques et atmosphériques, ce qui a d'abord permis d'isoler les variables présentant le plus

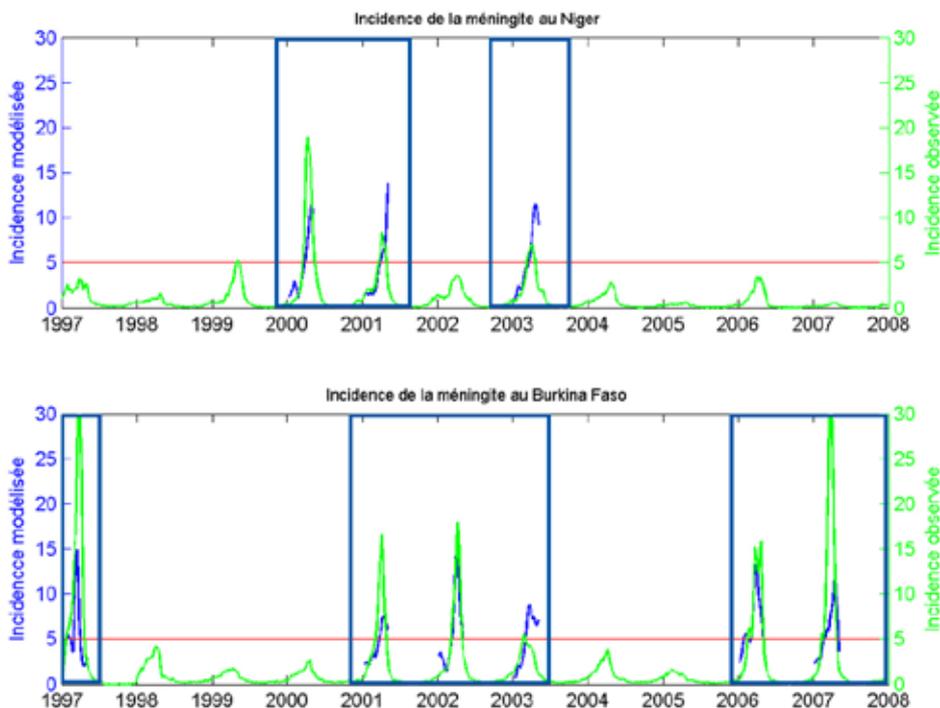


Figure 7 : Incidence (nombre de cas / 100000 personnes) de cas de méningite observée (vert) et modélisée (bleu) pour les années épidémiques (encadrées) au Niger et au Burkina-Faso entre 1997 et 2008 (la ligne horizontale signale le seuil épidémique de 5 cas / 100 000 personnes) (Figure adaptée de Deroubaix, al., 2013).

dans les différentes zones géographiques concernées (Figure 6). Il s'agit notamment des spécificités temporelles des épidémies observées, d'une part sur une vaste partie du Niger et, d'autre part, au Burkina-Faso, où celles-ci sont plus précoces, ce que le modèle corrèle à des températures plus élevées. Enfin, l'application du modèle à l'échelle du Niger et du Burkina-Faso reproduit bien les phénomènes observés (Figure 7), puisque le coefficient de corrélation est de 0,69. Le modèle reproduit les dates de dépassement du seuil épidémique (5 cas pour 100 000 habitants par semaine) avec un coefficient de corrélation de 0,94.

Une des conclusions de ce projet est qu'il est possible d'utiliser les données satellitaires sur les aérosols pour étudier leur impact sur la santé si l'on tient compte des biais liés à leur répartition verticale. Le principal résultat est que les variations spatiales et temporelles des conditions climatiques et d'empoussièrément peuvent expliquer les variations observées dans le démarrage et l'intensité des épidémies. Un modèle statistique simple, basé sur la température et l'indice d'aérosol, permet de rendre compte de cette variabilité spatiale et temporelle. La construction d'un système d'alerte précoce des risques associés aux conditions climatiques et atmosphériques est envisageable à partir de ce modèle, sous réserve de prévoir correctement les températures et les concentrations de poussières en surface.

Soutien et animation de la recherche clinique et épidémiologique SARCES

Le GIS Climat a réalisé un certain nombre d'actions d'animation scientifique sur le thème « climat-environnement-santé » dans le cadre du projet SARCES. L'objectif du projet était de renforcer les collaborations entre les équipes médicales de l'UVSQ, les physiciens de l'atmosphère et les organismes de santé publique afin de faire émerger des projets interdisciplinaires sur ce thème. SARCES a ainsi organisé des séminaires interdisciplinaires, mis en ligne des synthèses de littérature scientifique, fourni un soutien méthodologique aux réponses à différents appels à projet et organisé des rencontres avec des scientifiques travaillant dans des organismes extérieurs au GIS Climat (Laboratoire hygiène Ville de Paris, InVS, Institut A Bonniot, ORS Île-de-France, Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, *International Agency for Research on Cancer*). Ces différentes actions ont permis l'émergence de la thématique environnementale dans trois domaines médicaux : dermatologie, reproduction humaine et vieillissement, qui s'est concrétisée par le financement de projets post-GIS Climat, la mise en place de collaborations de longue durée ou la structuration d'équipes labellisées (UMRS 1168 UVSQ – INSERM) ayant une forte dimension environnementale.

Des revues de littérature ont également été effectuées dans le cadre du projet et ont donné lieu à trois publications dans le journal « Environnement, Risques

et Santé ». Ces études ont concerné d'une part les conséquences de la pollution de l'air et des conditions météorologiques sur l'issue de la grossesse (Laaidi et al., 2011a ; Laaidi et al., 2011b) et d'autre part les relations entre les allergies au pollen, le climat et la pollution de l'air (Laaidi et al., 2011c). Concernant les issues de grossesse, une grande diversité des études a été constatée. Les études relatives à la pollution montrent des associations avec différents polluants même si les risques relatifs (*odds ratio*) restent souvent faibles (1,03 à 2,88). Celles portant sur les conditions météorologiques font état d'une saisonnalité des naissances, du taux de prématurité, des poids de naissance et de la pré-éclampsie. Trois mécanismes sont évoqués : la latitude et l'ensoleillement, la température, et enfin les ressources alimentaires. Les divergences de conclusions des études dans les deux cas peuvent s'expliquer par le contexte culturel et socio-économique, la taille des échantillons, le nombre d'années considérées et les méthodes mises en œuvre : définitions des issues de la grossesse, méthodes de mesure de l'environnement ou de concentration de polluants, facteurs de confusion considérés, modélisation statistique. La diversité des approches rend la synthèse difficile, mais montre que les recherches doivent être poursuivies et adaptées au contexte local. Une meilleure compréhension de l'influence des facteurs environnementaux pourrait, par une prévention plus efficace, contribuer à réduire la prématurité et les problèmes de développement foetal, mieux gérer les services d'urgence, et par suite réduire les dépenses de santé.

Dans le cas de la revue sur les allergies au pollen, l'objectif de l'article était de faire le point sur les connaissances relatives aux relations entre les allergies au pollen, le climat et la pollution chimique de l'air. En effet, l'allergie pollinique, si elle a une forte composante génétique, résulte d'interactions complexes avec l'environnement, en particulier le climat et la pollution. Les interactions avec la pollution sont multiples : les polluants atmosphériques peuvent augmenter la quantité d'allergènes présents dans les grains de pollen et leur capacité à se libérer dans l'air et par suite majorer leur allergénicité. Par ailleurs, certains polluants agissent comme des irritants des voies respiratoires et abaissent le seuil de réactivité bronchique aux pollens. Leur action peut être renforcée par celle des conditions météorologiques, surtout lorsque les mêmes paramètres favorisent à la fois la production et la dispersion des pollens et celles des polluants. Quant au réchauffement climatique, il agit, comme cela est décrit dans la section 3, en modifiant les aires de répartition des végétaux producteurs de pollen allergisant, en allongeant la saison de floraison et les quantités de pollen produites et en modifiant le contenu allergénique des grains de pollen. Les effets de la pollution atmosphérique et des changements climatiques, qui peuvent agir séparément mais aussi en synergie, requièrent une adaptation de la population par des mesures préventives de type comportemental et médical, nécessitant des prévisions détaillées pour les saisons polliniques à venir.

IMPACTS LIÉS AUX CHANGEMENTS D'ÉCOSYSTÈMES

Allergies aux pollens PAC / ATOPICA

Les allergies aux pollens deviennent une importante question de santé publique, puisque le nombre d'allergies a été multiplié par trois depuis 25 ans. Le changement climatique peut favoriser une sensibilité plus importante aux allergies par ses effets globaux sur les organismes, mais il affecte aussi directement la source pathogène à travers la production des végétaux.

Le projet PAC visait à construire un modèle de simulation des concentrations en pollens à partir des paramètres météorologiques, mais aussi à partir d'un modèle de floraison, d'un modèle de production de pollen, des données de distribution spatiale des plantes, et d'un modèle de transport atmosphérique. Les travaux visaient à modéliser les concentrations aériennes en pollen pour déboucher sur la constitution de cartes de risque allergique. Le projet s'est d'abord intéressé au bouleau, dont la distribution géographique est assez stable dans le temps, ce qui a permis de constituer des cartes de production de son pollen dans les régions françaises.

Cette première étape a permis de déboucher sur le projet européen ATOPICA (*Atopic diseases in changing climate, land use and air quality*) qui avait pour objectif d'évaluer le risque d'allergie au pollen d'ambrosie sous la contrainte du changement climatique. En effet cette plante herbacée invasive a été introduite en Europe il y a une cinquantaine d'années à partir de plants venus d'Amérique du

Nord. Elle se développe beaucoup dans les pays des Balkans. En France, elle est présente dans la région lyonnaise et elle est considérée comme la plante la plus allergène connue. L'établissement de cartes de localisation de l'ambrosie est beaucoup plus difficile que dans le cas du bouleau, car l'espèce est mobile et les données sont partielles. Cependant, en partant de l'hypothèse que la plante ne se développe que dans les aires cultivées et urbaines, les chercheurs ont pu dresser une carte de présence de l'espèce par carré de 10 km de côté à l'échelle de l'Europe.

A l'aide d'un modèle phénologique, il est possible de simuler les périodes de floraison et les quantités de pollen produites. Le couplage de ce modèle à un modèle de transport atmosphérique permet de construire des cartes de concentrations quotidiennes. Le modèle a été calibré et validé par rapport aux observations 2000-2012 du réseau *European aeroallergen network* (EAN), qui relève jour après jour les quantités de pollens dans ses stations. Les concentrations peuvent dépasser 750 grains/m³/jour pour les zones les plus infectées, alors que l'on estime que les impacts allergènes peuvent apparaître à partir de dix grains par mètre cube. La correspondance entre le modèle et les données observées est satisfaisante, puisque le coefficient de corrélation est, sur la période 2000-2012, supérieur à 0,5 pour 75 % des sites dont la concentration dépasse dix grains par mètre cube. Des écarts apparaissent cependant entre les niveaux des pics de concentration réels et simulés (Hamaoui-Laguel et al., 2015).

Afin d'évaluer l'évolution des concentrations en pollen d'ambrosie sur les périodes 2021-2040 et 2041-2060, les scénarios climatiques RCP4.5 et

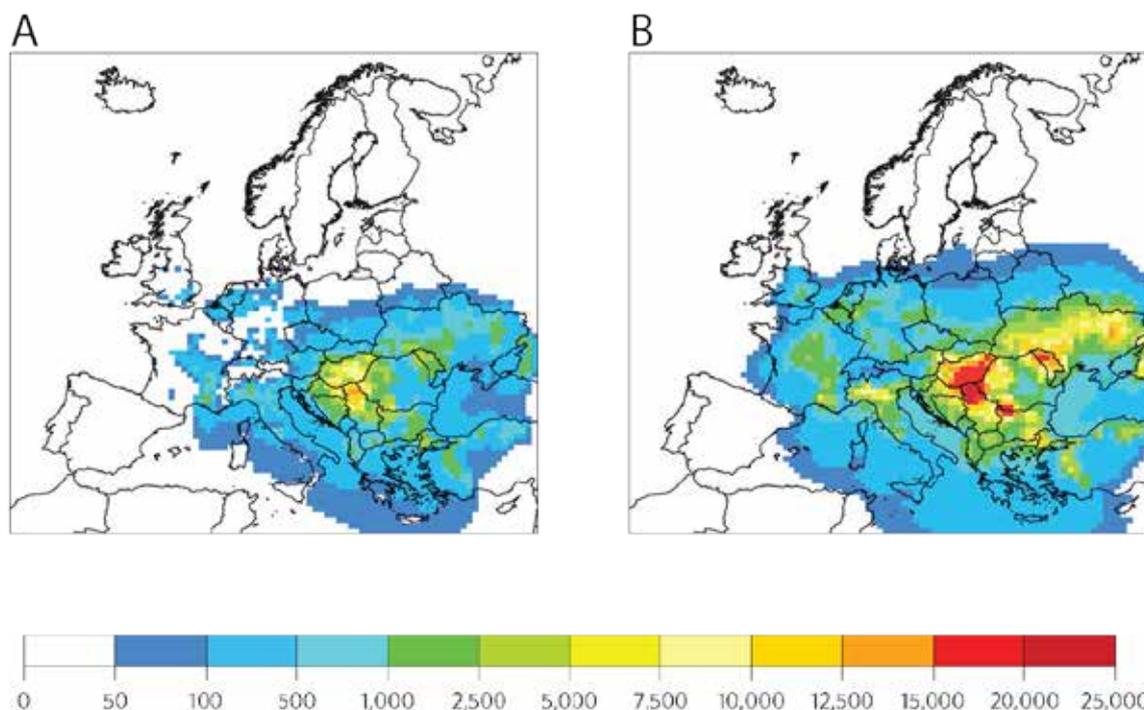


Figure 8 : Simulation du compte total de pollen d'ambrosie (grain/m³/an) dans l'air simulé avec le modèle CHIMERE. A) période historique (1986-2005) B) 2050 avec le scénario rcp8.5. D'après Hamaoui-Laguel et al. (2015).

RCP8.5 (qui représente un changement climatique modéré ou fort) ont été utilisés. Une première étape a été de développer un modèle de propagation de l'ambrosie qui permette de simuler l'extension de la plante sur le continent Européen. Le modèle de distribution se fonde sur la vitesse de propagation des graines, sur les conditions climatiques de survie et sur l'évolution de l'utilisation des terres. Compte tenu des incertitudes, trois scénarios d'invasion standard, rapide et lente ont été élaborés et déclinés selon les deux scénarios climatiques. La chaîne complète de modélisation depuis la production du pollen jusqu'aux simulations des concentrations polliniques a été ensuite utilisée. La figure 8 montre ainsi la différence de quantité totale de pollen simulée sur l'année dans l'atmosphère pour la période actuelle et en 2050 pour le scénario RCP8.5

Si l'on ne fait varier que les paramètres climatiques, il apparaît que les concentrations en pollen augmentent largement en Europe, et ce d'autant plus que la température s'élève. Deux facteurs principaux expliquent cette augmentation de production pollinique : l'effet de fertilisation du CO₂ et l'accroissement de la température qui permet d'allonger la période de production. L'accroissement de la sécheresse estivale peut cependant compenser partiellement cet effet positif sur la production dans certaines régions, notamment dans les régions centrales de l'Europe. Il faut néanmoins demeurer prudent quant à la prévisibilité réelle du modèle, car d'autres facteurs limitants, tels que le taux d'azote des sols, jouent aussi un rôle, variable en fonction des espèces de végétaux. L'effet climatique combiné à la dynamique d'invasion de l'ambrosie conduit à prédire un accroissement le plus probable d'un facteur 4 des concentrations en pollen d'ici 2050. L'incertitude reste importante puisqu'en combinant les différents scénarios et modèles la fourchette d'incertitude va d'un accroissement d'un facteur 2 à un facteur 12. Les contributions relatives du climat et de l'invasion de la plante dans cette augmentation sont de un tiers et deux tiers respectivement (Hamaoui-Laguel et al., 2015).

Une chaîne de modélisation complète de la concentration atmosphérique du pollen de l'ambrosie a ainsi été mise en place, ce qui permet d'étudier les impacts de l'ensemble des paramètres pris en compte avec un degré de confiance satisfaisant par rapport aux données des relevés en stations. Bien que des incertitudes demeurent, notamment sur la distribution de la plante, le projet établit que le changement global participera à la hausse de la production de pollen, ceci d'autant plus que l'évolution prévisible du climat élargira la niche écologique

potentielle de l'espèce en Europe. Cela renforce l'importance des mesures de suivi et d'éradication de l'ambrosie. Il reste toutefois à établir le lien entre ces résultats et la création de cartes du risque médical, ce qui exigera encore plusieurs années de recherche.

Feux de forêt et radioactivité RADIOCLIMFIRE

Après l'accident de Tchernobyl de 1986, une très importante quantité de Césium 137 (¹³⁷Cs), dont la durée de demi-vie est de trente ans, mais qui peut être ramenée à dix ans lorsqu'il se trouve dans les sols, s'est répandue dans une large zone allant de l'Ukraine et de la Biélorussie jusqu'aux Alpes. Les quantités les plus importantes ont été déposées à l'ouest et au nord de Tchernobyl. De nombreuses zones sont alors totalement interdites d'accès et peu à peu regagnées par la forêt et, plus généralement, par la végétation qui produit une importante biomasse : la surface occupée par la forêt boréale passe de 50 % en 1986 à 75 % actuellement. En outre, l'absence de gestion forestière maximise la probabilité de propagation des incendies.

Dans ce contexte, le projet de recherche RadioClimFire a visé à évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur l'occurrence des

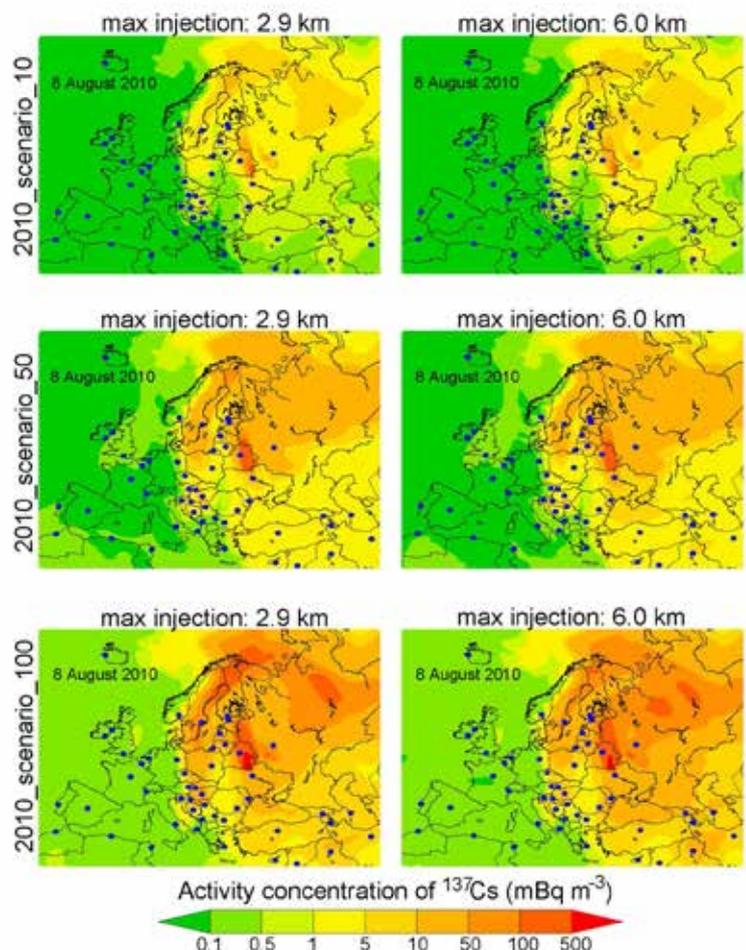


Figure 9 : Concentrations de ¹³⁷Cs simulées en surface en Europe le 8 août 2010 lors de l'épisode de resuspension le plus important (émissions pendant 10 jours consécutifs) pour les trois scénarios (2010_scenario_10, 2010_scenario_50, 2010_scenario_100) et pour deux hypothèses d'injection verticale (2.9 km à gauche et 6 km à droite). Les points rouges désignent les agglomérations.

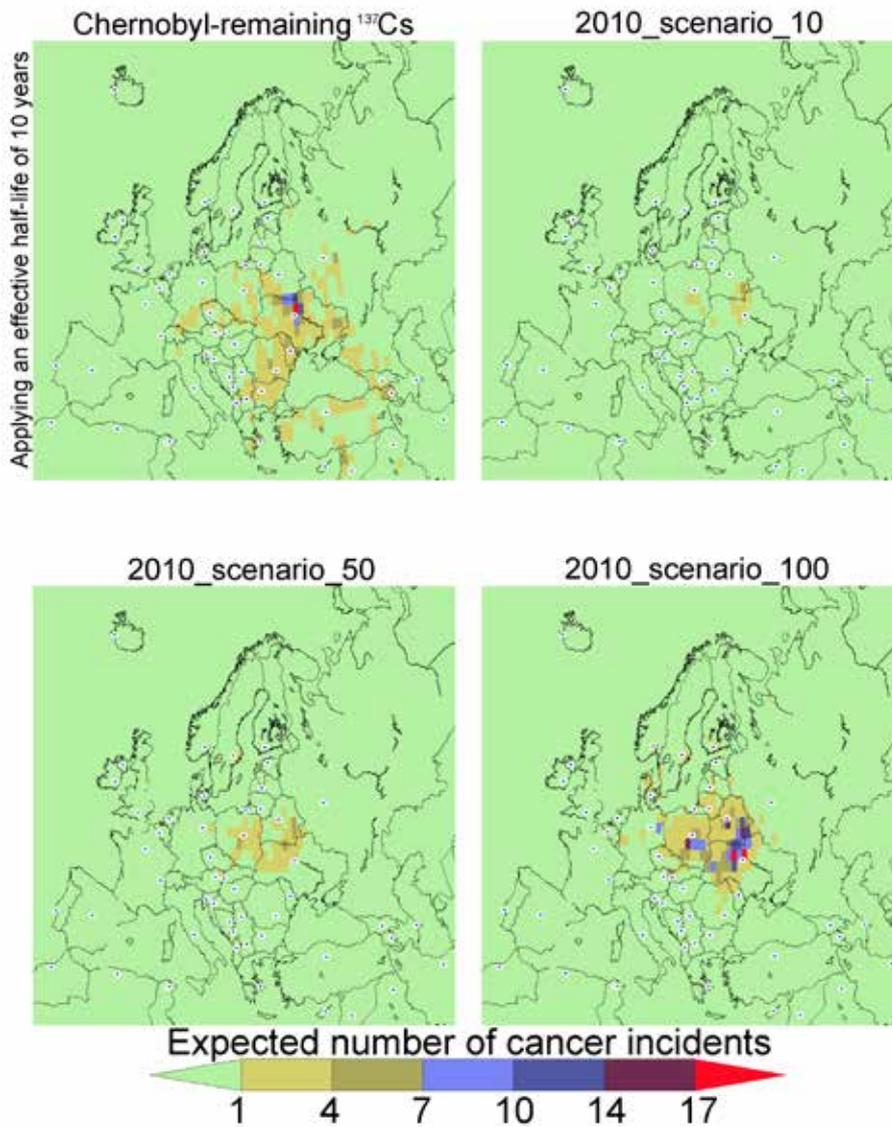


Figure 10 : Somme d'apparition de cancers dus à l'exposition au ^{137}Cs (dans l'air, par dépôt, par inhalation et par ingestion). Calcul du taux d'incidence par exposition au dépôt de ^{137}Cs restant de l'incident de Chernobyl (corrigé d'une demi-vie utile de 10 ans, Bergan, 2000). Tous les taux de mortalité ou d'apparition de cancers ont été calculés pour une population relative à l'année 2010 afin d'obtenir le nombre d'individus qui contracteraient ou mourraient de cancer. Les points blancs indiquent les grands centres de population urbaine (source : Evangelidou et al., 2015).

feux de forêts, comme ceux de la canicule de 2010, et de ses incidences potentielles sur la santé humaine compte tenu de la possibilité de remise en circulation aérienne d'une partie de la radioactivité stockée dans les plantes depuis l'accident de Tchernobyl.

Selon les observations satellitaires, les feux de forêt se déclenchent principalement dans la zone considérée durant le printemps et l'été. Différents incendies ayant eu lieu en juillet 2002, mars 2008, juillet 2010 et avril 2015 ont été étudiés en prenant en compte les conditions météorologiques permettant de modéliser les panaches de ^{137}Cs remobilisé dans l'atmosphère grâce au couplage des modèles d'atmosphère, d'incendies et de végétation. Outre la situation réelle, trois hypothèses d'injection verticale (2,9 km, 4,3 km et 6,0 km) correspondant à différents types de feux ont été explorées dans le cas de l'incendie de juillet 2010, afin d'évaluer les possibilités de déplacement de la radioactivité.

Les résultats indiquent que les incendies simulés libèrent des charges comprises entre 290 TBq et 4200 TBq de façon continue (Figure 9). A titre de comparaison, lors que l'explosion de la centrale de Tchernobyl, une charge de 85 000 TBq a été libérée fin avril 1986. Cette charge est passée sous 400 TBq dès le mois de juin 1986. Il a aussi été possible de modéliser les zones où le ^{137}Cs s'est déposé ou se déposerait et d'évaluer le cumul des quantités déposées. Ces dernières varient de plus de 40 Bq/m² à proximité des incendies à 1 à 3 Bq/m² pour l'Italie ou pour la région de Moscou dans le cas de l'incendie de 2002, par exemple. Par comparaison, le foyer résiduel de l'usine de Tchernobyl produisait encore en 2010 une accumulation de plus de 40 000 Bq/m² à proximité du site. Mais les feux de forêt possèdent la capacité d'étendre l'irradiation au-delà du lieu de dépôt initial du ^{137}Cs en 1986.

Alors que l'incendie de 2002 a déjà atteint 8 % de la surface de la zone

contaminée, le projet RadioClimFire vise à étudier les effets d'incendies massifs. Des scénarios ont été établis sur la base de l'incendie de 2010 pour des surfaces incendiées de 10 %, 50 % et 100 % des zones d'exclusion d'Ukraine, de Biélorussie et de Russie, en reprenant les hypothèses de hauteur d'injection citées ci-dessus. Ces hypothèses ne sont pas aberrantes compte tenu du non entretien de la zone et de l'impossibilité d'agir sur les feux autrement que par l'action de canadiens. Les scénarios relatifs à des surfaces incendiées de 50 % et de 100 % des zones d'exclusion libéreraient des quantités de l'ordre de 0,1 PBq, ce qui est comparable aux quantités libérées par le site de Tchernobyl à partir de juillet 1986 et par celui de Fukushima à compter de mai 2011. En cas d'incendie intégral des zones d'exclusion, les doses annuelles supplémentaires reçues par les habitants affectés (surtout dans la zone de provenance ainsi qu'en Pologne et dans les pays scandinaves) seraient comparables à celles qui proviennent actuellement des dépôts provenant de l'accident initial.

Cette dose annuelle étant non négligeable, ses effets ont été évalués grâce à l'outil ERICA, utilisée par l'Union européenne et par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), et en se fondant sur l'hypothèse LNT (effets linéaires des doses reçues sur les risques de cancer), couramment utilisée pour évaluer les impacts des cumuls de doses sur les risques de cancers. Selon ces modèles, le scénario d'un incendie de type 2010 qui couvrirait 100 % des zones d'exclusion déboucherait sur 20 à 240 cancers supplémentaires, dont la moitié avec issue fatale (Figure 10). Un certain nombre d'impacts sur la faune et la flore ont également été évalués sans tenir compte des effets cumulatifs chez les animaux : ces effets existent, mais sont moindres que ceux subis lors de l'accident de 1986 (Evangelio et al., 2014).

Vibrios pathogènes CLIMVIB

Le genre *Vibrio* est une bactérie autochtone des milieux marins côtiers, présente en période estivale et absente en période hivernale dans les zones tempérées. Parmi les espèces de *Vibrio*, on retrouve des pathogènes d'organismes marins, tels que *V. aesturianus* et *V. splendidus*, pathogènes de l'huître, et des pathogènes humains. *V. cholerae* est responsable du choléra qui affecte trois millions de personnes par an dans le monde avec une mortalité de 2,4 %. *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* et *V. cholerae non O1/non O139* sont des vibrios pathogènes humains non cholériques responsables de nombreux cas de gastro-entérites et d'infections cutanées. Ainsi, *V. parahaemolyticus* est la principale cause de gastro-entérites bactériennes humaines associées à la consommation de produits de mer crus ou peu cuits, en particulier aux États-Unis et au Japon. Aux États-Unis, *V. vulnificus* est responsable de 95 % des décès liés à consommation de produits de mer, avec un taux d'environ 50 % de mortalité. Les vibrios pathogènes humains sont considérés comme des pathogènes émergents transmissibles par l'eau et les produits de la mer, à l'échelle globale. Ainsi, on constate partout dans le monde, une émergence de gastro-entérites dues aux vibrios, émergence qui peut s'expliquer par la modification des habitudes alimentaires, le commerce international, l'augmentation du nombre de sujets immunodéprimés, mais aussi par des anomalies liées au réchauffement climatique.

Les dynamiques des vibrios pathogènes humains ont été reliées aux facteurs environnementaux, en particulier à la température et à la salinité, mais aussi au phytoplancton et au zooplancton. Ainsi, des phénomènes climatiques comme El Niño ou des anomalies climatiques comme l'augmentation de la température de surface de la mer (SST), ont été reliées à des épidémies de choléra et à la propagation de *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* dans les systèmes marins côtiers, augmentant le risque de vibrioses. Les anomalies de SST expliquent également les épidémies, suite à la consommation de coquillages, de *V. parahaemolyticus* en Alaska (2004), en Galice

(1999), et au Pérou (1997), et l'allongement de la saison estivale explique les infections à *V. vulnificus* aux États-Unis. Des événements météorologiques exceptionnels, tels l'ouragan Irène dans la baie de Chesapeake (États-Unis) en 2011 ou la tempête Xynthia dans le Pertuis Breton (côte Atlantique, France) en 2010 ont été responsables de perturbations des écosystèmes conduisant à des changements dans les concentrations de *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus*, ou l'émergence de souches entéro-pathogènes de *V. parahaemolyticus*. En Europe, les vibrios pathogènes humains non cholériques sont moins fréquemment associés à des épidémies et le risque d'infection à *V. parahaemolyticus* est considéré comme faible. Cependant, une analyse des épidémies dans le monde et en Europe conclue qu'une attention particulière devra être portée, dans les prochaines années, à une augmentation des cas en Europe du fait des conséquences du changement climatique (Monfort et al., 2014).

Le projet d'incubation CLIMVIB a notamment étudié l'effet, sur la dynamique des vibrios pathogènes humains, des apports brutaux d'eau douce dans les lagunes languedociennes lors d'épisodes événementiels. L'hydrologie de ces systèmes lagunaires est complexe, car ces lagunes communiquent entre elles par le canal du Rhône à Sète et avec la mer au travers de canaux (graus). Par ailleurs, elles sont alimentées ou traversées par des fleuves côtiers dont les débits augmentent rapidement en cas de précipitations : à la fin de l'été et durant l'automne, des pluies intenses sont responsables de crues qui se déversent dans les lagunes provoquant d'importantes variations de la salinité de l'eau. Des échantillonnages multiples ont été pratiqués, y compris après des précipitations, notamment lors des fortes crues de 2011, afin d'évaluer la réponse des concentrations en vibrios à la baisse de la salinité. Ainsi à l'automne 2011, la salinité des sites échantillonnés était autour de 35 ‰ et les concentrations des trois vibrios étaient comprises entre zéro et deux milles vibrios par litre. De fortes pluies ont provoquées des crues intenses et rapides apportant d'importantes quantités d'eau douces dans les lagunes dans lesquelles la salinité diminuait sur quinze jours pour atteindre des valeurs comprises entre 2 et 16 ‰. Les concentrations des trois vibrios augmentèrent alors atteignant des valeurs autour de dix milles vibrios par litre. Les plus fortes concentrations ont été atteintes pour des salinités entre 10 et 20 ‰ pour *V. parahaemolyticus*, entre 10 et 15 ‰ pour *V. vulnificus*, et 5 et 12 ‰ pour *V. cholerae* (Esteves et al. 2015a). Ces résultats observés in situ concordent avec les expériences menées en laboratoire.

La diversité génétique des souches de *V. cholerae* et de *V. parahaemolyticus*, présentes dans les lagunes, est équivalente à la diversité mondiale. Cependant, la présence dans ces souches de ST (séquence type) trouvés dans les infections humaines aussi bien que la fréquence d'événements de recombinaisons génétiques dans les populations de ces vibrios permet de dire qu'il existe un potentiel de risque épidémiologique (Esteves et al. 2015b).

Dans ce cadre, le GIS Climat a soutenu un projet d'incubation, le projet CLIMVIB, visant à étudier la possibilité de développer un modèle prédictif permettant l'aide à la décision face aux risques d'épidémie à vibrios, et de simuler la dynamique de ces vibrios sous contrainte du changement global. Plusieurs actions ont été menées, dont deux séminaires de travail, afin d'examiner l'état des connaissances des différents domaines scientifiques et les pistes possibles d'investigations communes. Cette analyse a fait ressortir l'impact potentiel du changement climatique, qui pourrait induire une augmentation de la concentration en vibrios suite à l'augmentation des températures de surface de la mer (SST) mais également, en Méditerranée, suite à l'intensification des pluies événementielles responsables de dessalures brutales ; un potentiel de modélisation avec différentes approches suivant l'échelle spatiale considérée, nécessitant de résoudre la difficulté de coupler des approches spatiales et temporelles dont les échelles sont très différentes entre les observations (biologiques) des vibrios, et les observations des paramètres (physiques) environnementaux.

Vers une approche intégrée climat-écologie-santé

Le changement climatique affecte l'écologie de la transmission d'un certain nombre d'agents de maladies infectieuses. L'environnement épidémiologique se modifie donc, mais comment ? Quelles pourraient en être les conséquences pour la santé des humains ? C'est autour de ces questions que le GIS Climat – avec l'écologue de la santé Serge Morand³ – s'est mobilisé pour réfléchir aux bases d'une stratégie d'élaboration de scénarios pour la santé en lien aux changements socio-environnementaux (changement climatique, usages des terres, ressources vivantes, biodiversité...), en particulier de scénarios couplés santé-climat.

Cette réflexion s'est organisée au cours de différents colloques et de deux retraites en résidence⁴. Du point de vue projet, seul Climvib (décrit ci-dessus) en est issu. Mais sur le plan conceptuel, le GIS Climat a apporté sa contribution à l'installation de la problématique de façon forte et rigoureuse non seulement dans les communautés scientifiques ayant peu l'habitude d'interagir (géographes, géomaticiens, sociologues, écologues, épidémiologues) mais aussi avec les agences sanitaires (Afssa, Invs), et autres porteurs d'enjeux tels que l'association Humanité et biodiversité. Des verrous ont été identifiés -dont certains sont évoqués ci-dessous- et la nécessité de renforcer une approche intégrée est désormais acquise.

³ Aujourd'hui chercheur CNRS-CIRAD au Centre d'Infectiologie Christophe Mérieux du Laos et à la Faculté de Médecine tropicale à l'Université Mahidol (Thaïlande).

⁴ Par ex : Séminaire de prospective "Futurs méditerranéens, scénarios d'émergence et risques sanitaires", février 2009. Serge Morand et Chantal Pacteau ;

Modélisation du changement climatique et maladies infectieuses

Il est particulièrement difficile d'établir des projections relatives aux effets du changement climatique sur les maladies infectieuses et sur leurs impacts sanitaires. Les projections les plus simples qui sont à notre disposition concernent les modifications de l'environnement abiotique où, par exemple, les changements d'aire de répartition des vecteurs sont prédits et cartographiés à l'aide des modèles climatiques établis pour les différents scénarios économiques et de développement. Cependant, si la transmission d'un agent infectieux dépend des conditions locales de biodiversité, il convient de construire des modèles intégrant les modifications de biodiversité avec les variables climatiques. Ces modèles sont théoriques car, à ce stade, nous atteignons les limites de nos connaissances sur les liens entre biodiversité et écologie de la transmission des agents infectieux.

Les modélisations publiées montrent que les distributions de nombreuses maladies infectieuses vont effectivement changer, surtout celles qui nécessitent la présence de vecteurs pour assurer la transmission, comme la dengue ou le chikungunya. Ces modèles prédisent des nouveaux territoires à risque du fait des modifications des niches environnementales, qui deviennent favorables à l'établissement des cycles infectieux. Les modèles montrent généralement un déplacement des niches environnementales des maladies infectieuses avec des déplacements des aires de distribution vers les régions élevées en latitude (comme pour la dengue) ou en altitude (comme pour le paludisme) avec l'évolution future du climat. Toutefois, les gains nets de surface géographique des maladies infectieuses sont rarement donnés car, encore une fois, ils dépendront des conditions socio-économiques des territoires potentiellement favorables à la transmission écologique. L'efficacité des systèmes de santé publique permettra ou non l'établissement de l'agent infectieux. Ainsi, le sud de la France est devenu propice à l'installation du moustique tigre, le vecteur du virus de la dengue, mais le système de santé est en mesure de contrôler les épidémies ou une éventuelle endémisation de la dengue.

Variabilité climatique et changement climatique

Les phénomènes climatiques El Niño / La Niña sont connus pour les conséquences épidémiques de nombreuses maladies infectieuses. Les événements anormaux de pluviométrie extrême favorisent les maladies vectorielles ou à réservoirs comme la dengue, l'encéphalite japonaise, le paludisme ou les fièvres hémorragiques à hantavirus. De même, les événements anormaux de sécheresse peuvent favoriser certaines encéphalites infectieuses (voir ADCEM par

exemple). Les cartes établies pour les derniers grands épisodes El Niño de 1997/1998 ou de 2007/2008 sont révélatrices. Elles montrent les corrélations géographiques entre les anomalies de sécheresse/pluviométrie et l'incidence des épidémies de ces maladies infectieuses.

Il n'est pas nécessaire d'entrer dans une période extrême El Niño pour mesurer les conséquences de la variabilité climatique sur les maladies infectieuses. La simple variabilité climatique inter-annuelle, mesurée par des indices comme l'ENSO ou le NAO, est associée aux incidences de plusieurs maladies infectieuses. On observe ainsi une corrélation temporelle, et spatiale, entre les valeurs de ces indices de variabilité climatique et l'incidence de la leptospirose ou de la dengue en Asie du Sud-est, ou pour celles des fièvres hémorragiques à hantavirus en Europe. La télé-connexion permet ainsi de prédire les incidences et les épidémies de nombreuses maladies infectieuses par une simple utilisation de ces indices. Des alertes peuvent être lancées à partir des mesures de température obtenues par les satellites (et servant à l'établissement des indices ENSO, NAO et autres) permettant de prédire le risque épidémique de fièvre de la Vallée du Rift en Afrique Australe, de la dengue en Amérique latine ou de la leptospirose en Asie du Sud-est.

La variabilité climatique serait-elle plus importante que le changement climatique pour expliquer les épidémies et les risques sanitaires infectieux ? Les modèles climatiques récents suggèrent plutôt le contraire car le changement climatique en cours modifie l'intensité et la fréquence de la variabilité climatique. Pluies plus intenses associées aux événements El Niño ou à la mousson en Asie, vagues de chaleur vont affecter l'environnement épidémiologique avec pour conséquence probable une augmentation de la variabilité du risque d'épidémies pour toutes les maladies liées à l'eau, transmises par des vecteurs, ou dépendant d'animaux réservoirs sauvages. Le développement d'approches intégrant climat-écologie et santé devraient à terme améliorer notre connaissance des possibles conséquences sanitaires.

CONCLUSION

Les projets du GIS Climat ont permis d'élaborer des outils d'analyse et des méthodologies pour adapter les données relatives aux paramètres physiques du climat et de l'environnement aux problématiques de santé. Les études ont par exemple évalué la pertinence des mesures réalisées depuis l'espace pour traiter certaines problématiques de santé ou bien se sont interrogées sur les méthodes de reconstitution des données passées et leur adéquation à la problématique étudiée. Des avancées ont été obtenues quant à la sensibilité sanitaire des populations à la pollution et aux changements climatiques, ou sur la mise en place de systèmes d'alerte précoce pour certaines affections

(allergies, méningites). En termes de santé publique, le GIS Climat a favorisé la prise en compte de paramètres environnementaux dans la mise en place récente de la cohorte Constances⁵. Il a également permis l'émergence de communautés scientifiques multidisciplinaires partageant les mêmes outils et concepts théoriques, et susceptibles ensuite de proposer des projets plus conséquents au niveau national (ANR) ou européen (programme H2020), accroissant ainsi la visibilité internationale des équipes du GIS Climat. A titre d'exemple, le projet européen ATOPICA est directement issu des travaux réalisés dans le cadre du projet PAC et des synergies prometteuses avec des équipes nord-américaines spécialisées en santé publique ont été favorisées par le projet A-C HIA.

Des difficultés ont aussi été rencontrées. Ainsi dans le cas du projet PREMAPOL qui visait à évaluer le lien entre pollution atmosphérique et risque de prématurité, il n'a pas été possible d'identifier un lien de cause à effet entre les paramètres géophysiques et les naissances prématurées dans le cas des cohortes évaluées. Cet exemple est emblématique des difficultés rencontrées pour bien identifier les mécanismes à l'œuvre dans des phénomènes multifactoriels, dont certaines peuvent être liées au manque de données pertinentes. A cet égard, le GIS a bien joué son rôle d'incubateur, à même de financer des projets risqués susceptibles d'échouer.

D'un point de vue stratégique à long terme, les études et réflexions sur les différentes problématiques de santé ont mis en évidence le besoin fréquent de séries longues conjointes de données de santé et géophysiques. Il convient ainsi de soutenir des travaux permettant de mettre au point de telles séries, en associant toutes les compétences nécessaires (pouvant aller jusqu'aux historiens de l'environnement ou de la santé). Par ailleurs, les relations doses/effets sont souvent empiriques et il est difficile de les transposer à d'autres échelles que celles à laquelle elles ont été établies. Les études épidémiologiques doivent donc s'interroger sur la fiabilité de ces relations dans les différentes variables prises en compte dans l'analyse. Le changement climatique en tant que tel peut induire des effets relativement peu perceptibles par rapport à d'autres facteurs d'ordre comportemental ou sociétal. L'identification des signaux climatiques nécessite alors des analyses statistiques sophistiquées, susceptibles d'extraire des signaux faibles dans un ensemble de signaux plus intenses. Enfin, comprendre les relations climat-santé passe aussi par le développement d'approches intégrées interdisciplinaires impliquant la prise en compte des relations complexes entre climat-écologie-santé et société.

⁵ Constances est une cohorte épidémiologique « généraliste » constituée d'un échantillon représentatif de 200 000 adultes âgés de 18 à 69 ans à l'inclusion, consultant des Centres d'examen de santé (CES) de la Sécurité sociale (<http://www.constances.fr/>).

RÉFÉRENCES

- Agier L., A. Deroubaix, N. Martiny, P. Yaka, A. Djibo and H. Broutin, Seasonality of meningitis in Africa and climate forcing: aerosols stand out, *J. Roy. Soc. Interface*, 10, doi: 10.1098/rsif.2012.0814, 2013
- Corrêa M. P., S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, C. Brogniez, F. Verschaeve, P. Saiag, A. Pazmiño and E. Mahé, Comparison between UV index measurements performed by research-grade and consumer-products instruments, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2010, 9, 459 - 463, DOI: 10.1039/b9pp00179d, 2010.
- Corrêa M. P., S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, S. Bekki, P. Saiag, J. Badosa, F. Jégou, A. Pazmiño, E. Mahé, Projected changes in clear-sky erythemal and vitamin D effective UV doses for Europe over the period 2006 to 2100, *Photochemical & Photobiological Sciences*, 12 (6), 1053-1064, 2013, doi: 10.1039/C3PP50024A.
- De Longueville F., Y.-C. Hountondji, P. Ozer, B. Marticorena, B. Chatenet and S. Henry, Saharan dust impacts on air quality: what are the potential health risks in West Africa?, *Human Ecological Risk Assess.*, 19, 1595-1617, 2013.
- Deroubaix, A., N. Martiny, I. Chiapello and B. Marticorena, Suitability of OMI aerosol index to reflect mineral dust surface conditions: Preliminary application for studying the link with meningitis epidemics in the Sahel, *Remote Sens. Environ.*, 133, 116-127, 2013.
- Evangelou et al., 2014b, Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment : A new nuclear disaster about to happen?, *Environment International*, 2014.08.012, 73, 346-358.
- Evangelou N. et al., 2015, « Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and the environment », *Ecological Monographs* 85:49-72.
- Esteves K., Hervio-Heath D., Mosser T., Rodier C., Tournoud M.-G., Jumas-Bilak E., Colwell R.R., Monfort P. 2015a. Rapid proliferation of *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* and *Vibrio cholerae* during freshwater flash floods in French Mediterranean coastal lagoons. *Appl. Environ. Microb.* doi: 10.1128/AEM.01848-15
- Esteves K, Mosser T, Aujoulat F, Hervio-Heath D, Monfort P and Jumas-Bilak E, 2015b, Highly diverse recombining populations of *Vibrio cholerae* and *Vibrio parahaemolyticus* in French Mediterranean coastal lagoons. *Front. Microbiol.* 6:708. doi: 10.3389/fmicb.2015.00708
- GIS Climat-Environnement-Société, Changement climatique et santé, actes du colloque, octobre 2014. www.gisclimat.fr/actes-du-colloque-changement-climatique-et-santé.
- Hamaoui-Laguel, L., R. Vautard, L. Liu, F. Solmon, N. Viovy, D. Khvorostyanov, F. Essl, I. Chuine, A. Colette, M. A. Semenov, A. Schaffhauser, J. Storkey, M. Thibaudon and M. Epstein, 2015: Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2652.
- Jégou J., S. Godin-Beekman, M. P. Corrêa, C. Brogniez, F. Auriol, V. H. Peuch, M. Haeffelin, A. Pazmiño, P. Saiag, F. Goutail, and E. Mahé, Validity of satellite measurements used for the monitoring of UV radiation risk on health, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13377-13394, doi:10.5194/acp-11-13377-2011, 2011.
- Kinney, P., Schwartz, J., Pascal, M., Petkova, E. Le Tertre, A. Medina, S. and Vautard, R., Winter Season Mortality: Will Climate Warming Bring Benefits?, 2015 *Environ. Res. Lett.*, 10, doi:10.1088/1748-9326/10/6/064016.
- Kinney, P. L., M. Pascal, R. Vautard, and K. Laaidi, 2012: Winter mortality in a changing climate: will it go down? *Bull. Epidem. Hebdo.*, 12-13, 5-7.
- Laaidi M, Boumendil A, Tran T-C, Kaba H, Rozenberg P, Aegerter P. Conséquences de la pollution de l'air sur l'issue de la grossesse : revue de la littérature, *Environnement, Risques et Sante*, 10(4):287-98, 2011a.
- Laaidi M, Boumendil A, Tran T-C, Kaba H, Rozenberg P, Aegerter P. Conséquences des conditions météorologiques sur l'issue de la grossesse : revue de la littérature. *Environnement, Risques et Sante*, 10(2):128-41, 2011b.
- Laaidi M, Chinnet T, Aegerter P. Allergies au pollen, pollution et climat : revue de la littérature. *Revue Française d'Allergologie*. Nov ; 51(7):622-8. 2011c.
- Lee, M., F. Nordio, A. Zanobetti, P. Kinney, R. Vautard and J. Schwartz, 2014: Acclimatization across space and time in the effects of temperature on mortality. *Environ. Health*, 13:89.
- Mahé E., A. Beauchet, M. de Paula Corrêa, S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, S. Bruant, F. Fay-Chatelard, F. Jégou, P. Saiag and P. Aegerter, Outdoor sports and risk of ultraviolet radiation-related skin lesions in children: evaluation of risks and prevention, *British Journal of Dermatology*, 165(2), 360-367, 2011, DOI: 10.1111/j.1365-2133.2011.10415.x, 2011
- Mahé E., M.P. Correa, S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, F. Jégou, P. Saiag, A. Beauchet, Evaluation of tourists' UV exposure in Paris, *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, DOI: 10.1111/j.1468-3083.2012.04637.x, 2012
- Marticorena B., B. Chatenet, J. L. Rajot, S. Traoré, M. Coulibaly, A. Diallo, I. Koné, A. Maman, T. NDiaye and A. Zakou, Temporal variability of mineral dust concentrations over West Africa: analyses of a pluriannual monitoring from the AMMA Sahelian Dust Transect, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 8899-8915, 2010.

Monfort P., Morand S., Lafaye M. 2014a. Risques microbiologiques et systèmes de surveillance. *In Environnement : des milieux et des sociétés, Collection « Mers et Océans », A. Monaco et P. Prouzet, ISTE Editions, London. pp. 131-160. ISBN : 978-1-78405-002-3.*

Monfort P., Morand S., Lafaye M. 2014b, Microbiological coastal risks and monitoring systems. *In Vulnerability of coastal ecosystems and adaptation, « Oceanography and marine biology series – Seas and oceans set », A. Monaco et P. Prouzet, eds, ISTE Editions, London, and John Wiley & sons Editions, Hoboken. pp. 95-129. ISBN : 978-1-84821-704-1.*

Pacteau, C., Joussaume, S., Appréhender les impacts du changement climatique sur la santé, AdSP La revue du Haut Conseil de la santé publique, La documentation française, n°93, 2015, p10-15.

Smith, K.R., A. Woodward, D. Campbell-Lendrum, D.D. Chadee, Y. Honda, Q. Liu, J.M. Olwoch, B. Revich, and R. Sauerborn, 2014: Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 709-754.

Yahi, H., B. Marticorena, S. Thiria, B. Chatenet, C. Schmechtig, J.L. Rajot and M. Crepon, Statistical relationship between surface PM10 concentration and aerosol optical depth over the Sahel as a function of weather type using neural network methodology, *J. Geophys. Res.*, 118, 13265-13281, 2013.

Construction de l'interdisciplinarité au sein du GIS Climat

Coordinateur : JP. Vanderlinden

Rédaction : K. de Pryck

Contributeurs : JP. Billaud
S. Joussaume
C. Pacteau

Construction de l'interdisciplinarité au sein du GIS Climat

INTRODUCTION

L'expérience du Groupement d'intérêt scientifique Climat-Environnement-Société (en abrégé, GIS climat ou GIS) en tant que praticien et promoteur d'interdisciplinarité autour de l'objet climat est restituée et discutée dans ce chapitre. Dans cette perspective, l'apport du GIS Climat est double : il a permis de renforcer la recherche interdisciplinaire sur le changement climatique et ses impacts tout en cultivant une réflexion interne sur sa propre démarche interdisciplinaire. Cette démarche s'inscrit dans une construction interdisciplinaire de l'objet climat, qui s'est principalement développée dans les années 1980 au sein de la météorologie et des sciences de l'atmosphère avec l'émergence des sciences du système terre et se consolide avec le développement des modèles de circulation générale. Cette première intégration interdisciplinaire émerge principalement au sein des sciences naturelles et entre disciplines relativement proches. Toutefois, avec la définition du changement climatique comme *wicked problem* (problème « pernicieux ») et la reconnaissance de l'importance des pratiques humaines et sociales dans la compréhension de l'objet climat ainsi que des valeurs et des représentations socio-cognitives qui leur sont associées, une nouvelle phase d'intégration interdisciplinaire devient nécessaire, qui englobe de manière plus systématique les dimensions physique, écologique et socioéconomique des changements globaux et de leurs impacts.

Durant ses huit années d'existence, le GIS Climat s'est engagé à faire dialoguer des disciplines qui ne se côtoyaient pas et à faire de l'interdisciplinarité un choix sur le plan scientifique. Cette synthèse propose de revenir sur les démarches qu'il a entreprises pour soutenir l'interdisciplinarité, ainsi que les apports et limites d'une telle démarche pour la compréhension de l'objet climat, mais également pour la recherche dans son ensemble. Cette réflexion a été conduite autant au niveau de la gouvernance du GIS Climat, au sein de sa direction, de son comité d'orientation (CO) et de son conseil de groupement (CG), qu'au niveau des projets qu'il a soutenus.

Cette section est le résultat d'un travail conduit entre mars et juillet 2015, qui s'inscrit dans un prolongement de la réflexion menée au sein du projet « Recherche et animation: mobilisation des savoirs et structure interdisciplinaire des connaissances » (RAMONS) sur l'interdisciplinarité au sein du GIS Climat. Tout d'abord, elle s'appuie sur une analyse des archives du GIS Climat depuis 2007, qu'il s'agisse de compte-rendus de réunions du consortium, de ses activités ou des rapports intermédiaires et finaux des projets qu'il a soutenus. En particulier, les compte-rendus

des conseils d'orientation et de groupement, les rapports du séminaire de prospective à Seillac et la feuille de route rédigée collectivement en 2009 se sont révélés particulièrement pertinents pour reconstituer la mise en place de la démarche interdisciplinaire au sein du GIS Climat ainsi que les nombreux défis auxquels il a dû faire face¹. Afin de mieux naviguer dans les documents et l'histoire du GIS Climat, un groupe de discussion de plus de deux heures a été organisé avec la direction du GIS Climat entre avril et juin 2015. Ensuite, sept entretiens individuels semi-directifs ont été conduits avec des membres du GIS Climat : projets, Conseil d'orientation et actions d'animation. Ces entretiens ont été déterminants pour mieux comprendre le développement interdisciplinaire au niveau de la gouvernance du GIS Climat, de ses projets et membres, mais ils ne constituent en soi qu'une réflexion non-représentative de sa dynamique, tant il a inclus de partenaires dans sa dynamique. Cela dit, les grandes tendances et leçons de l'expérience du GIS Climat ont été maintes fois confirmées dans les entretiens et discussions et constituent une base solide pour discuter l'expérience de l'interdisciplinarité en son sein.

La première partie de cette analyse retrace l'évolution du GIS Climat depuis sa création et l'appropriation de la démarche interdisciplinaire qu'il a engagée. Trois phases majeures sont identifiées: une première phase renvoie à ses premières années (2007-2008) et la mise en place du consortium comme instrument pour consolider la recherche sur le climat et favoriser l'interdisciplinarité. La seconde phase (2009-2010) voit une un approfondissement de ses objectifs vers plus d'ouverture et d'innovation interdisciplinaire. Comme il sera souligné lors de la réunion conjointe du Comité d'orientation et du Conseil de groupement en 2009, « le GIS est l'interdisciplinarité » (Réunion du Conseil de groupement et du Conseil d'orientation du 12 février 2009). La troisième et dernière phase (2010-2015) reflète une consolidation des acquis du GIS Climat qui débouche sur une période d'animation scientifique et de bilan.

La seconde partie revient plus en profondeur sur les instruments développés par le GIS Climat pour renforcer l'interdisciplinarité au niveau de sa gouvernance et des projets. Finalement, la dernière partie propose une évaluation des apports du groupement pour l'interdisciplinarité autour de l'objet climat.

¹ Certaines citations ont été extraites de ces documents. Pour obtenir le document original, s'adresser à la direction du GIS Climat.

Sur l'« interdisciplinarité »

Plusieurs définitions de l'interdisciplinarité existent, telle que celle de « démarche de recherche construite en assemblant de façon méthodique des connaissances, des points de vue, des techniques de travail provenant de disciplines scientifiques différentes » (Jollivet et Legay 2005 : 184). Plusieurs propositions, venant en particulier des institutions de recherche ont été faites pour distinguer différents contextes de pratiques allant de la pluri à la transdisciplinarité.

Le concept d'« interdisciplinarité » est utilisé ici dans une acception large. Il s'agit d'une pratique scientifique hybridée menant à la production d'un discours dont le mode de production (comment on « fait » de la science), le mode de régulation (comment l'activité scientifique est régulée), le régime d'accumulation (les modalités par lesquelles les savoirs produits sont distribués et mutualisés) relèvent, pour l'un ou plusieurs, d'au moins deux disciplines appartenant à des champs différents (comme les sciences de l'univers et les sciences humaines et sociales par exemple).

Il s'agit donc d'une acception qui englobe pluri-, multi-, inter-, et trans-discipline au sens de Blanchard et Vanderlinden (2010). Les différentes modalités de pratiques interdisciplinaires ne doivent pas être perçues comme hiérarchisées ou associées à un comportement plus ou moins vertueux. Paraphrasant Blanchard et Vanderlinden (2013), il n'existe qu'une « interdisciplinarité désirable, vertueuse », celle que définissent et choisissent collectivement les membres du projet concerné.

LA SPÉCIFICITÉ INTERDISCIPLINAIRE DU GIS CLIMAT

L'interdisciplinarité est au cœur du GIS Climat depuis sa création en 2007, qui s'inscrit dans un contexte national et international favorable à la création de groupements scientifiques interdisciplinaires autour de l'objet climat. Au niveau national, il émerge en premier lieu d'une volonté, principalement mûrie au sein de l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace), d'élargir la communauté du climat au sein d'une fondation de coopération scientifique (dans le cadre de la politique de lancement de réseaux thématiques de recherche avancée), soutenue alors par la loi de programmation pour la recherche de 2006. Finalement, cette initiative prendra la forme d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS) pour une durée initiale de cinq ans, prolongée ensuite de quatre ans jusqu'en 2016. Il vient en appui à la stratégie d'adaptation au changement climatique de la France définie en 2007. Au niveau international, le GIS s'insère dans le développement d'initiatives interdisciplinaires sur le climat, comme en atteste par exemple la création du Tyndall Center (Royaume Uni) en 2000, du programme international *Earth System Science Partnership* en 2001 ou encore du Walker Institute (Royaume Uni) en 2006. En France, il représente une des premières initiatives françaises de ce type.

Soutenir l'interdisciplinarité tout en répondant aux exigences de qualité et aux attentes en termes de résultats scientifiques est un défi auquel le GIS Climat a fait face tout au long de ses huit années d'activité. Aller au-delà des frontières disciplinaires pour faciliter l'intégration interdisciplinaire demande du temps et de la souplesse.

Dans ce chapitre, nous revenons tout d'abord sur les huit années d'existence du GIS Climat et le développement de la démarche interdisciplinaire en son sein. On adoptera une approche chronologique du développement de sa réflexion interdisciplinaire tout en identifiant les différents outils mis à la disposition de ses membres pour la renforcer. Ensuite, nous ferons l'analyse des différentes pratiques interdisciplinaires au sein des projets soutenus par le GIS Climat et clôturerons par une réflexion sur les leçons à tirer de son expérience interdisciplinaire.

Les premiers pas : 2007-2008

A ses débuts, le GIS a pour objectif principal de « renforcer et d'étendre les recherches sur le changement climatique et ses impacts » en soutenant l'interdisciplinarité et la visibilité internationale de la recherche en Île-de-France et en favorisant l'interface avec la société (Convention constitutive du GIS Climat 2007:2). En ce sens, les quatre grands thèmes proposés structurent la démarche autour :

- du climat global, des politiques énergétiques et du développement économique ;
- des extrêmes climatiques et régions vulnérables ;
- du changement climatique, des écosystèmes, de l'utilisation des sols et ressources en eau ;
- de l'impact du changement climatique sur la santé;

En 2009, l'adaptation au changement climatique a été introduite comme un cinquième axe transversal. Le GIS Climat a soutenu également jusqu'à cette date la modélisation numérique du Système Terre, l'observation de la Terre et des paramètres climatiques et la mobilisation des connaissances sur les interfaces climat-société.

Les premières années du GIS sont consacrées à la mise en place d'un mode de fonctionnement et permettent aux différentes communautés réunies dans le groupement de se connaître. En 2007, il lance plusieurs appels à projets sous forme de lettres d'intention et de projets détaillés. Il s'agit avant tout de consolider les actions autour des quatorze laboratoires concernés (CG du 17 juillet 2007). Il est question de soutenir des projets de qualité au sein des quatre axes définis par le GIS Climat et de « brasser large » pour tester le terrain (extrait d'entretien). Les projets à risque -perçus comme tels dans la mesure où ils proposent une démarche interdisciplinaire, des questions novatrices et mobilisent des communautés qui ne se connaissent pas- sont fortement soutenus. Projets à risques également dans la mesure où le processus d'intégration interdisciplinaire est un critère majeur

d'évaluation des projets, sinon le plus important. Il s'agit de « *tester et voir si on peut faire quelque chose* » (extrait d'entretien). Pour le GIS Climat, « *the role of the Consortium is not to duplicate funding agencies such as the ANR. It aims at stimulating the emergence of new projects and new interdisciplinary groups that should then help to enhance capability of teams to succeed to ANR and/or European projects* » (Scientific Committee Report 2011: 7). Sur les seize projets proposés à l'issue d'une sélection parmi trente-neuf lettres d'intention reçues, dix projets sont retenus en 2007. Ces projets sont le résultat de réflexions et de besoins interdisciplinaires déjà mûris au sein des laboratoires partenaires du consortium, qui n'auraient pu être réalisés au sein d'agences de financement traditionnelles. Il ne leur manquait que « *l'allumette* », « *le déclencheur* » pour les lancer (extrait d'entretien).

En 2008, le GIS soutient une approche « au fil de l'eau » en proposant trois appels à projets et lettres d'intention pour offrir plus de souplesse dans les appels d'offre. Une initiative de financement de chercheurs invités est également lancée. Durant cette période, le GIS Climat insiste sur le besoin de motiver d'autres disciplines, en particulier en écologie, hydrologie et en sciences sociales. Malgré le nombre important de propositions (vingt-neuf projets détaillés et lettres d'intention), seulement cinq projets sont sélectionnés. Les projets soumis dans le cadre de cette seconde vague ne satisfont pas dans leur majorité les attentes du GIS Climat. De nombreux projets sont mono-disciplinaires, ne s'inscrivent pas dans une perspective de collaboration avec d'autres laboratoires et projets au sein et à l'extérieur du GIS Climat. Il s'agit trop souvent dans les projets soumis d'une interdisciplinarité de façade : les projets mettent en avant trop souvent l'utilité de leur recherche pour les travaux d'autres disciplines, sans pour autant les inclure dans la recherche. En particulier, on observe une dominance des projets soutenus par les laboratoires de l'IPSL et un manque de projets ayant une dimension intégrant l'écologie et/ou les SHS (hors économie). Au total, le GIS Climat n'a soutenu que trois projets en SHS depuis 2007, respectivement intitulés « *Etude des caractéristiques et de la fréquence des événements extrêmes en France depuis 1500* » (RENASEC), « *Recherche et Animation : Mobilisation des Savoirs et Structure interdisciplinaire des connaissances* » (RAMONS) et « *Chimie atmosphérique et changement climatique: aspects épistémologiques et politiques* » (EPIC-3). Pour certains, la faiblesse des propositions révèle également les limites du GIS Climat qui réserve son soutien aux seuls laboratoires partenaires du consortium, ce qui élimine de fait certaines compétences et disciplines, en particulier en SHS.

Repenser la stratégie du GIS : 2009-2011

Fin 2008, la sonnette d'alarme est lancée par le Conseil de groupement qui déplore le manque d'interdisciplinarité dans les propositions de projets. Comme il le souligne, « *les projets présentés cette*

fois-ci, certes très bons scientifiquement, manquent d'ouverture interdisciplinaire et sont trop "classiques" » (conseil de groupement du 28 novembre 2008: 3). Une réunion entre le Comité d'orientation et le conseil de groupement est organisée en février 2009 en vue de relever les défis et conserver la spécificité interdisciplinaire du GIS Climat. Le manque d'interdisciplinarité des propositions est identifié comme un problème majeur pour le succès et la continuité du GIS. Plusieurs difficultés sont soulevées sur le contour du GIS, en particulier les problèmes d'articulation entre thématique et interdisciplinarité ainsi que le manque d'ouverture du GIS à d'autres laboratoires, en particulier des laboratoires en SHS (hors économie). Pour les membres du Conseil de groupement, le GIS doit jouer un « *rôle majeur* » pour le développement de l'interdisciplinarité (Conseil de groupement du 11 février 2009). Le GIS Climat « *est une opportunité de créer ou développer des équipes et des interfaces qui n'existent pas ou peu pour répondre aux besoins de société [...] Il est important d'oser, de prendre des risques* » (Conseil de groupement du 11 février 2009). « *Le GIS Climat ne doit pas jouer le rôle d'agence de moyens comme l'ANR mais doit se positionner sur un rôle d'incubateur* » (Conseil de groupement du 8 juillet 2008).

Une réflexion collective est alors lancée, au sein de laquelle le projet RAMONS va jouer un rôle clé pour guider les discussions autour des questions de définition et de pratique interdisciplinaires au sein du GIS Climat. Il s'agit d'aller au delà de la simple pluridisciplinarité des projets. Une journée thématique « *Renforcer la recherche interdisciplinaire sur le changement climatique* » est organisée le 25 mai 2009 ainsi qu'un séminaire de prospective de quatre jours à Seillac en juillet 2009 afin de lancer une réflexion méthodologique sur le développement de l'interdisciplinarité au sein du groupement. Sur la base des réflexions de ces séminaires, une feuille de route est rédigée collectivement et présentée au Conseil de groupement. Elle met en évidence le potentiel de nouveaux projets au sein du GIS Climat. A l'issue de cette réflexion, une nouvelle thématique transversale et émergente est proposée autour de l'adaptation au changement climatique. L'objectif de cet axe est « *d'encourager les travaux sur le sujet, et d'autre part, pointer la nécessité d'intégrer une réflexion sur l'adaptation dans toute recherche sur le changement climatique* » (<http://www.gisclimat.fr/en/node/897>).

La nouvelle vague de projets retenus en 2009 par le Conseil d'orientation et le Conseil de groupement témoigne de la volonté du consortium d'élargir ses compétences par l'ouverture à de nouveaux laboratoires, en particulier avec les SHS (hors économie) et la santé. L'ouverture vers les SHS est institutionnalisée en 2010 par l'inclusion du Centre Koyré et du LADYSS au sein des laboratoires du GIS Climat. Plusieurs partenariats sont également mis en place avec l'association NSS Dialogues (Natures Sciences Sociétés), l'UQAM (Université du Québec à Montréal), l'InVS (Institut de veille sanitaire) et

L'Afsset (L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail) pour soutenir la créativité. La position de directrice adjointe à l'interdisciplinarité, comprise comme « directrice en charge des relations avec les SHS et les sciences du vivant », est créée et attribuée à Chantal Pacteau pour son rôle proactif dans l'ouverture interdisciplinaire du GIS Climat, en particulier vers les SHS, la santé et l'écologie.

La dimension interdisciplinaire des projets devient un critère incontournable et le financement d'instruments et de plateformes méthodologiques prévu dans le projet initial du GIS Climat est suspendu. L'animation scientifique est identifiée comme un outil essentiel, un « lieu de rencontre » pour faire émerger de nouvelles idées et motiver des projets interdisciplinaires (extrait d'entretien). Elle devient une action prioritaire du GIS Climat à partir de 2010. Plusieurs outils innovants sont fortement soutenus : organisation de séminaires, conférences et ateliers de recherche, élaboration de papiers concepts et soutien de projets « en incubation ».

Cette seconde phase du GIS Climat révèle la nécessité d'engager une réflexion collective sur l'interdisciplinarité et sa pratique, qui passe nécessairement par une « sensibilisation et une formation » des membres à ces questions et exige du temps pour se mettre en place (extrait d'entretien). A l'issue de ces dialogues, le consortium a développé une vision de l'objet climat, qui intègre mieux ses dimensions environnementale, écologique et sociétale.

Engagement plus fort des sciences humaines et sociales : 2010-2015

Cette dernière phase met en exergue le rôle du GIS Climat en tant que « laboratoire à idées, en organisant différentes formes de débats scientifiques visant à identifier les besoins en recherche dans ses thématiques phares et à stimuler l'émergence de projets novateurs » (Sylvie Joussaume dans la revue *La Jaune et la Rouge* 2010). La mission principale du GIS devient celle de « développer la recherche interdisciplinaire sur le changement climatique et ses impacts » (Conseil de groupement du 16 septembre 2013).

Dans cette dernière période, le GIS Climat s'applique à la mise en œuvre des objectifs et actions définis dans la feuille de route développée à l'issue du séminaire de prospective. Elle reflète également une meilleure appropriation du consortium par les SHS (hors économie), particulièrement dans ses dernières années, ainsi que le développement de l'animation scientifique au sein du consortium. Ce dernier point suggère que les différentes communautés qui ont composé le GIS Climat n'ont pas nécessairement été actives au même moment au sein du programme.

Seuls deux appels d'offre sont lancés, respectivement le 20 octobre 2010 pour des notes conceptuelles et le 28 janvier 2011 pour des projets détaillés. Ce

dernier appel fait suite à une année d'animation de la communauté dans le but de stimuler les développements interdisciplinaires. La priorité est mise pour des projets à risque qui sous-tendent les principes énoncés dans la feuille de route et enrichissent les projets existants. En effet, un financement de deux voire trois ans n'est souvent pas suffisant pour développer une recherche interdisciplinaire, qui suppose l'acquisition d'un autre type de « culture » scientifique (extrait d'entretien).

La coopération avec de nouvelles équipes est également soutenue. Le financement des projets est souvent discuté avec les porteurs des projets au regard de l'affectation budgétaire, de la durée du projet, de leur contenu ou du besoin en personnel. On observe une réelle coopération entre les porteurs des projets et le CO, dont l'expérience en matière d'interdisciplinarité s'est fortement développée.

A partir de 2011, le GIS Climat ne finance plus de projets et se focalise sur l'organisation de colloques, séminaires et ateliers. En mars 2011, le Conseil scientifique externe réunissant des personnalités scientifiques françaises et étrangères, pour faire une évaluation de l'organisation, des missions et des réalisations du consortium. Dans son compte-rendu, le Conseil scientifique souligne *the GIS Climat's « commitment to foster a more integrative, question-driven approach to research »* et le « *more pro-active role in the establishment of an interdisciplinary community* », particulièrement lors de la rédaction collective de la feuille de route (Rapport du Conseil scientifique 2011: 1).

APPORTS ET LIMITES DES OUTILS INTERDISCIPLINAIRES DÉVELOPPÉS PAR LE GIS CLIMAT

L'expérience du GIS Climat a permis de développer et tester une diversité d'outils et de méthodes pour renforcer l'interdisciplinarité tant au niveau de la gouvernance du consortium que de la gestion des projets soutenus par le GIS. La nécessité d'outils pour encadrer la démarche interdisciplinaire vient du constat que celle-ci ne se met pas en place « *en claquant des doigts* » (extrait d'entretien). Elle suppose un dispositif qui ne se réduit pas à un simple élargissement (qu'entraîne la diversité disciplinaire) de la gouvernance habituelle d'un projet de recherche mais qui fait de sa construction un des objectifs- même du programme de travail.

Un fonctionnement flexible des appels à projet et des critères d'évaluation

Tout d'abord, la flexibilité des appels à projet, que ce soit au niveau de la forme des propositions (lettres d'intention, projets détaillés) ou des critères d'évaluation, a permis à de nombreux projets de voir le jour, alors qu'ils n'auraient pas été retenus par des programmes de financement plus traditionnels. Il s'agissait d'aller « *au-delà de l'existant* » (présentation

de Sylvie Joussaume du 25 mai 2009). Dans plusieurs cas, la création du GIS Climat a permis la maturation d'idées de projet en incitant à « *sortir des sentiers battus* » (extrait d'entretien).

Dans les premières années, les appels d'offre sont lancés plusieurs fois par an et se font « au fil de l'eau », ce qui donne une certaine souplesse dans la soumission. De plus, le format de soumission est particulièrement flexible : la proposition est à soumettre sous forme de lettre d'intention (une à deux pages) à laquelle fait suite une demande de projet détaillé si le projet est retenu. Les lettres d'intention permettent de tester les initiatives émergentes. « *This allowed mapping possible collaborations and projects while making sure the community understood the main objectives of the new structures* » (Rapport du Comité scientifique 2011 : 8). Souvent, il s'ensuit un dialogue avec le CO pour mieux préciser la dimension interdisciplinaire de la proposition. L'envoi direct de projets détaillés (d'une dizaine de pages), sans lettre d'intention préalable, est également accepté. De plus, les projets peuvent être portés autant par des chercheurs confirmés que par des jeunes chercheurs, qui ont pu développer leurs recherches au sein du GIS Climat (par exemple au sein d'ENVIGLOB, CCTV1, CCTV2 et REGYNA).

Par ailleurs, le GIS Climat soutient tous types de projets de recherche, de coordination ou de communication, que ce soit sous forme de plateforme, de thèse ou de post-doctorat, d'animation scientifique, de visite de chercheur, d'actions de communication ou de formations à vocation internationale (colloques, écoles thématiques). En 2010, il soutient également la rédaction de papiers concepts pour dégager les grandes problématiques d'un objet de recherche et proposer des pistes à explorer. De manière générale, les appels à projets sont donc « *souples et novateurs* » (extrait d'entretien).

Les critères d'évaluation sont également flexibles et privilégient avant tout la prise de risque. Le GIS Climat soutient le financement intégral ou partiel de projets, avec ou sans condition. Dans certains cas, une proposition de projet peut déboucher sur l'organisation de séminaires ou d'ateliers. Il est demandé aux porteurs des projets de détailler l'avancement annuel du projet ou de passer une audition devant le Conseil d'orientation (à partir de 2010). Il est aussi question de suivi du pilotage des projets, des thèses et de vérification de la dimension interdisciplinaire pour mieux cerner les succès et limitations des travaux engagés.

Cette flexibilité dans les appels d'offre et la prise de risque ont permis de renforcer la créativité et l'originalité des propositions mais a également permis au consortium de s'adapter rapidement aux défis de l'interdisciplinarité. Par contre, la question du temps n'a pas toujours pu être résolue : les projets interdisciplinaires exigent plus de temps que les projets traditionnels et les financements

de deux à trois ans ne permettent pas dans tous les cas de mener à bien le projet, en particulier quand un partenaire dépend des résultats de l'autre pour la continuité de son projet ou quand le projet nécessite une phase de co-construction de l'objet étudié. L'accès ou le manque de données représentent également un défi important pour le succès des projets. Finalement, un projet interdisciplinaire n'est pas non plus exempt des difficultés rencontrées par des projets ou programmes plus traditionnels concernant la gestion du projet (direction, personnels impliqués, etc.) et les motivations et intérêts des participants.

Le GIS comme laboratoire d'expérimentation de l'interdisciplinarité : sous la loupe de RAMONS

En 2008, les chercheurs du GIS Climat ont à faire face à des difficultés pour mettre en pratique l'interdisciplinarité au sein de la gouvernance et des projets. Après un an d'existence, il leur apparaît important, de préciser les concepts utilisés, les objectifs d'interdisciplinarité et de clarifier la motivation des acteurs (Blanchard 2011). Un projet de thèse sur l'interdisciplinarité et sa mise en œuvre au sein même du groupement est alors proposé, avec pour titre « Recherche et animation : mobilisation des savoirs et structure interdisciplinaire des connaissances, et interface entre science, société et politique » (RAMONS). L'objectif de RAMONS est de « *mettre à la disposition des chercheurs du GIS [sous la forme d'outils, de méthodes et de recommandations] un accompagnement de la dynamique de renforcement de l'interdisciplinarité afin d'en faciliter l'ancrage dans le long-terme* » (présentation de Vanderlinden et Blanchard du 25 mai 2009).

Il constitue « *un travail de réflexion sur les processus de construction et d'expérimentation de l'interdisciplinarité entre les différents domaines de recherche rassemblés au sein du [GIS Climat]* ». La recherche fut conduite tant au niveau de la structure globale du GIS Climat lors de séminaires qu'au niveau de deux projets financés par le consortium (HUMBOLT et CCTV2). Le cadre d'intervention est celui de la « recherche-action », qui privilégie une collaboration entre chercheurs de différentes disciplines au sein d'un cycle itératif d'actions et de réflexions (Blanchard et Vanderlinden, présentation du 25 mai 2009).

RAMONS contribuera en particulier à la structuration du séminaire sur l'interdisciplinarité organisé en mai 2009² et du séminaire de prospective de Seillac en juillet 2009 (voir ci-dessous). L'objectif du séminaire « *was to gain a better understanding of the dynamics of interaction between disciplines to study climate change and its consequences* » et d'identifier des « *solutions potentielles aux défis auxquels [faisaient] face [...] les chercheurs du GIS Climat* » (Cadre de la présentation du 25.05 2009: 2).

² Renforcer la recherche interdisciplinaire sur le changement climatique, http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/Interdisciplinarité_250509_pgr.pdf

La journée thématique sur l'interdisciplinarité « a permis d'analyser les pratiques et les difficultés rencontrées au sein des projets GIS et de profiter de l'expérience d'acteurs de la recherche ayant une longue pratique de la programmation de thématiques transversales », tels que Jacques Weber, ancien directeur de l'Institut pour la biodiversité, Claude Miller, président du Conseil scientifique du programme GICC (Gestion et Impacts du Changement Climatique) et président de l'association NSS-Dialogues ou encore Laurent Lepage, professeur à l'Institut des sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Le projet RAMONS a plus particulièrement mis en lumière les différents freins et barrières à l'interdisciplinarité au niveau de l'individu, du groupe, des disciplines et de l'organisation. Les chercheurs de RAMONS ont souligné l'importance de se connaître dans la dimension personnelle et dans la dimension disciplinaire tout comme « *the importance to clarify concepts and the goals of interdisciplinarity and the need to clarify the motivation of actors* » (Blanchard et al. 2011). Cette journée s'est clôturée par une table ronde sur le thème « qu'a-t-on appris aujourd'hui qui puisse servir le GIS et l'atelier de fin juin et la feuille de route ? ». Lors de cette journée, l'incubation a été identifiée comme un outil pertinent pour renforcer la maturation et la qualité des projets interdisciplinaires. Cet outil a dès lors été soutenu par le GIS Climat comme stratégie d'exploration et d'expérimentation de nouvelles problématiques.

Les observations des chercheurs du projet RAMONS ont montré que la bonne volonté ne suffit pas à poser les bases d'une démarche interdisciplinaire. Alors que le degré d'interdisciplinarité « *was merely judged by the number of disciplines present in the project, but not by the methods proposed for cooperation across disciplinary boundaries* » (Blanchard 2011: 24), les chercheurs ont progressivement élargi leur vision de l'interdisciplinarité, au sein de laquelle le concept de réflexivité a été collectivement identifié par les scientifiques du GIS Climat comme « *prérequis à l'interdisciplinarité* » (Blanchard 2011).

Les séminaires de prospective : apprendre à se connaître, parler le même langage

Un séminaire de prospective a été organisé du 29 juin au 2 juillet 2009 à Seillac³, réunissant plus de cinquante participants, membres et non-membres de laboratoires du GIS Climat spécialisés en climatologie, SHS, écologie et santé. Ce séminaire a été accueilli avec beaucoup d'enthousiasme et a permis à des communautés qui s'ignoraient largement de se découvrir, se respecter et prendre le temps d'échanger « en toute sécurité ». Il est sans aucun doute l'événement qui a le plus marqué les membres et la dynamique du GIS Climat. « *Au-delà de la définition d'axes de recherche*

pour les prochaines années, ce séminaire a aidé les participants à mieux s'appropriier les concepts et les enjeux d'une structuration interdisciplinaire au sein de la communauté » (Feuille de route 2009: 6).

L'issue de ce séminaire devant être le partage des méthodologies et concepts entre disciplines, il a été organisé en six ateliers, réels « *lieux de partage* » retenus pour leur dimension intégrative (ex : climat et santé, zones vulnérables, coût des dommages et adaptation) (extrait d'entretien). Les discussions autour de ces ateliers avaient pour but de définir l'apport du GIS sur les différentes problématiques. Il s'agissait d'identifier sous forme de « livrables », les besoins de connaissances, les thèmes émergents et les questionnements à cibler, mais également de penser outre « projets », « animations » et papiers concepts, etc. Les ateliers ont révélé une « *hétérogénéité dans le degré d'interpénétration des disciplines* » (Feuille de route 2009: 8). Par exemple, les réflexions autour des relations climat, qualité de l'air et santé se sont révélées les plus avancées dans leur structuration, alors que celles autour de l'adaptation « *ont mis en évidence la nécessité de réflexions multi-facettes approfondies* » (Feuille de route 2009: 8).

L'analyse du séminaire de prospective par RAMONS a mis en lumière la volonté de la communauté de travailler de façon interdisciplinaire ainsi qu'une bonne capacité d'échange et d'écoute. Le progrès le plus marquant a sans aucun doute été l'appropriation par les participants du « *langage des autres disciplines* » (présentation au Conseil de groupement du 8 juillet 2009). Néanmoins, cette analyse a également montré certaines limites, comme la difficulté de passer de l'intention à l'action et le manque de disponibilité des différents acteurs. Bref, l'objectif a été en partie atteint de mieux reconnaître les méthodes, les données et les outils de l'autre et de s'approprier au travers « *d'échange de concepts* », tels que ceux de climat ou d'incertitude.

La redéfinition collective des objectifs du GIS Climat : l'élaboration d'une nouvelle feuille de route

La feuille de route définie en 2009, présentée au CG du 16 février 2010, reflète l'aboutissement d'un an de réflexion collective au sein du GIS, soutenue par une approche participative reposant sur la journée thématique consacrée à l'interdisciplinarité, le séminaire de prospective organisé à Seillac et les résultats du projet RAMONS. « *L'élaboration de cette feuille de route a permis de conforter la démarche de structuration interdisciplinaire du GIS en mettant en évidence son réel potentiel de développement et de collaboration. Elle a permis de mieux cerner les thématiques dans lesquelles ce potentiel pouvait s'exprimer* » (Feuille de route 2009: 13). Elle propose également des actions visant à approfondir les thématiques et à mobiliser les chercheurs autour de l'animation scientifique sous forme de conférences, colloques et ateliers de réflexions.

³ <http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/seminaire-prospective>

L'objectif de la feuille de route a été double. Tout d'abord, il s'agissait de définir « *the potential of interdisciplinary teams of all partners of the GIS laboratoires and present avenues for research and provide a scientific strategy for the next three years and start thinking about the future of GIS* » (Scientific Committee 2011: 10). Pour soutenir ces nouvelles pistes de recherche, la direction du GIS et le Groupe d'orientation ont identifié un ensemble d'actions stratégiques à mettre en œuvre pour y répondre, tels les actions d'animation (séminaires, conférences, colloques), l'élaboration de papiers-concept, l'ouverture disciplinaire (vers le LADYSS et le Centre Koyré entre autres) ainsi que des appels d'offre « *associant une partie ouverte et une partie ciblée sur des thèmes prédéfinis [...] qui s'appuieront sur des projets existants du GIS afin de renforcer la visibilité de nos actions et de renforcer la dynamique interdisciplinaire* » (Feuille de route 2009: 11).

Elle montre cependant que cette ambition reste à concrétiser « *en passant de la volonté de la communauté à la maturation de projets interdisciplinaires. Au-delà du soutien de projets, la feuille de route met en exergue la nécessité de renforcer le rôle d'animation et l'implication de la communauté. Elle réaffirme la nécessité d'une action de long-terme pour construire réellement l'interdisciplinarité* ». (Feuille de route 2009: 13)

Un outil méthodologique pour faciliter les dynamiques interdisciplinaires : le cahier du participant

Le cahier du participant permet de collecter une partie de ce qui se dit lors de réunions *ad hoc* sous la forme d'écrits, réalisés lors de pauses programmées à des moments particuliers de discussions. Il s'agit d'un « *outil méthodologique qui permet d'optimiser le temps d'une réunion de deux manières : en formalisant des moments d'arrêt, avec pause écrite, [elles permettent de mieux ancrer] nos délibérations dans ce que nous apportons chacun, dans nos interrogations* » (Blanchard et al, 2010).

Cette démarche de réflexivité écrite individuelle a trois avantages. Premièrement, elle permet aux participants de s'exprimer librement, sans la contrainte des rapports hiérarchiques entre communautés scientifiques et individus et sans le risque d'influences de la part du reste du groupe. Elle propose donc une réflexion personnelle, structurée selon des priorités et représentations mentales de chacun. Deuxièmement, la démarche écrite permet aux participants de naviguer avec plus de lisibilité et à leur rythme dans la complexité de la problématique, en structurant, par écrit, l'abondance d'idées issues des interactions interdisciplinaires. Enfin, la démarche individuelle d'écriture donne également aux participants le temps et l'espace d'une réflexion sur eux-mêmes (motivations, intérêts et expériences), sur leur discipline (règles

de fonctionnement, codes éthiques), et sur les influences de ces éléments sur leur vision de l'interdisciplinarité.

L'outil « cahier du participant » a été lancé dès 2010, lors des ateliers franco-québécois sur l'adaptation au changement climatique. Il a depuis essaimé hors du GIS au sein de différents projets de la communauté « climat ». Le projet « Quantification des émissions de CO₂ en Île de France » de l'ANR (CO₂-Mega Paris), celui de BNP Paribas « *FAst Climate Changes, New Tools To Understand And Simulate The Evolution of The Earth System* » (FATES), le programme européen « *European climate and weather events : interpretation and attribution* » (EUCLEIA) et le projet « *Adaptation Research a Transdisciplinary Community and Policy Centred Approach* » (ARTISTIC) du Belmont Forum ont tous adopté, en l'adaptant à leurs spécificités, cette approche méthodologique pour faciliter des dynamiques interdisciplinaires.

Les notes conceptuelles

Un soutien à la rédaction de notes conceptuelles a été proposé dans la feuille de route, pouvant « *prendre la forme d'un soutien à des ateliers d'une semaine, pour une dizaine de personnes, en vue de préparer un papier concept sur un des thèmes intégrateurs* » (Feuille de route 2009: 12), avec l'objectif de « *dégager les grandes problématiques d'un objet de recherche et de proposer des pistes à explorer* » (Conseil de groupement du 12 avril 2011). Malgré l'intérêt et le potentiel de ce type d'activité, aucune note conceptuelle n'a finalement été lancée à la suite de l'appel d'offre du 20 octobre 2010. Les propositions n'ont pas satisfait les attentes des évaluateurs, qui elles-mêmes étaient assez floues.

Cependant, comme il l'a été évoqué dans le chapitre « Changement climatique et santé » de ce document, l'idée de ces notes conceptuelles ont donné lieu à des ateliers de travail qui sont à l'origine d'initiatives sur le thème de l'écologie de la santé. Des collaborations se sont instaurées entre le GIS Climat et des groupes de recherche internationaux, comprenant aussi bien des spécialistes de santé publique que des SIG et des systèmes de surveillance sanitaire. Elles se sont traduites par le soutien à des projets de recherche et par la participation et la co-organisation de workshops et conférences inter et transdisciplinaires.

Les projets en incubation et l'animation : soutenir la maturation interdisciplinaire

L'idée de projets dits d'incubation est partie du constat que l'interdisciplinarité doit s'appuyer sur une première séquence de co-construction des problématiques, et nécessite de ce fait une période intense de réflexions et d'échanges autour d'objets de recherche souvent « en friche ». D'où la décision de

soutenir ces séquences d'incubation pour développer la maturité du projet en termes de contenus partagés, de méthodologies croisées et de disponibilités des données.

La forme privilégiée pour mener ces projets d'incubation a été principalement l'atelier(s), permettant de démarrer le dialogue entre disciplines, de préciser les contours de l'objet de recherche pour s'assurer de sa dimension interdisciplinaire et de la renforcer. En 2010, deux projets ont bénéficié d'une année d'incubation (CCTV1 et ERIC), à l'issue de laquelle des séminaires de restitution ont eu lieu : « Changement climatique et trames vertes » et « Étude de la région côtière de M'Bour ». Suite à cette expérience de maturation théorique, seul CCTV a été jugé susceptible de développer un projet de recherche réalisable (CCTV2). En 2011, le projet d'incubation CLIMVIB a également été lancé, des expérimentations bio-environnementales ont été effectuées mais le couplage climat-santé n'a pu être mené à bout, l'un des principaux verrous étant celui des échelles des modèles climatiques et biologiques.

L'expérience du GIS Climat ayant montré que la réussite de l'incubation passe souvent par le soutien de l'animation scientifique entre les partenaires internes et externes, il a soutenu, entre 2010 et 2015, un grand nombre d'actions d'animation. Des ateliers et réunions ont été organisés pour identifier les besoins en recherche dans ses cinq axes et stimuler l'émergence de réflexions et de projets interdisciplinaires. L'organisation de quatre séminaires, en collaboration avec l'association NSS Dialogues et l'Université du Québec à Montréal (UQAM), a réuni des nombreux chercheurs et praticiens autour de la question de l'adaptation au changement climatique - villes, biodiversité, zones vulnérables et incertitudes – et a permis de mieux définir le concept d'adaptation et de dégager de nouvelles questions, qui ont pu par exemple se développer dans CCTV et CCTV2. Plusieurs discussions et séminaires autour de la santé publique ont également été organisés, dont l'invitation de Patrick Kinney qui a mené à la proposition de projet ACHIA.

Les séminaires de restitution ont analysé en particulier la dimension interdisciplinaire et l'expérience acquise au sein des projets financés par le GIS Climat depuis 2007, l'objectif étant de dégager les principales conclusions et les grandes orientations pour des recherches futures. Ce partage d'expérience a pu constituer un « *déclat* » pour le lancement d'autres initiatives (extrait d'entretien). Ils ont permis aussi de rapprocher différents acteurs des projets et de révéler la cohérence des actions du GIS.

Un réseau européen multi-acteurs sur la ville et le changement climatique

La transition écologique se joue, pour l'essentiel, dans les villes et leurs territoires d'approvisionnement. Le changement climatique engendre des risques accrus de pénurie d'eau, d'inondation, de canicule, de pollution de l'air, entre autres, auxquels les collectivités urbaines doivent répondre par des stratégies d'adaptation plurielles, compatibles avec les exigences de la crise de la biodiversité et des dynamiques économiques et sociales.

Engagées dans des politiques de réduction de leurs consommations d'énergie et de matériaux ainsi que de leurs émissions de gaz à effet de serre, les collectivités urbaines deviennent, de ce fait, les principaux acteurs de la lutte contre le changement climatique et, plus généralement, des changements globaux.

Le réseau mondial *Urban Climate Change Research Network* (UCCRN*) regroupe cinq cent cinquante personnalités issues du monde scientifique (spécialistes du climat, de la biodiversité, de l'hydrologie, de l'économie, de la politique) et des divers secteurs de la société (autorités locales, urbanistes et autres professionnels de la ville, organisations non gouvernementales, réseaux de citoyens) avec pour objectif d'institutionnaliser un processus continu de mise à jour de l'état des connaissances sur le changement climatique lié à la problématique urbaine et sur l'expérience des villes en matière d'adaptation et d'atténuation. L'objectif des chercheurs est de partager les connaissances scientifiques avec les acteurs du monde urbain et de co-construire des expérimentations afin d'explorer des solutions et d'accompagner les villes dans leurs initiatives face au changement climatique. Par ailleurs, il favorise la diffusion rapide des meilleures pratiques aux décideurs et autres parties prenantes de la ville. Ces objectifs se réalisent à travers des initiatives portant sur le suivi et l'évaluation des politiques climatiques urbaines ainsi que la publication de rapports faisant le bilan de ce que font les villes en matière de lutte contre le changement climatique (*ARC3 series*). Un échange permanent et en temps réel de connaissances **pour et avec** les villes se fait ainsi entre pairs d'une part, et entre scientifiques et parties prenantes d'autre part.

Le réseau UCCRN est en cours de structuration en six sous-réseaux qui reliaient, au niveau continental, ses activités mondiales et proposeront des activités propres. Le hub européen - dont Chantal Pacteau est co-responsable - est basé à Paris. Ses porteurs sont le GIS Climat-Environnement-Société, le CNRS, l'UPMC - avec l'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (lees) - la Mairie de Paris (avec l'adjointe à la Maire chargée de l'Enseignement supérieur, de la recherche et de la vie étudiante, et l'Agence d'écologie urbaine), l'Atelier international du Grand Paris, l'Agence parisienne du climat et l'Institut pour l'économie du climat (IACE), ex-CDC Climat. Il a été officiellement lancé, lors de l'événement parallèle de la conférence *Our common futur under climate change* au Pavillon de l'Arsenal à Paris, organisé par le GIS Climat, lees et l'AIGP, le 9 juillet 2015.

Le résumé à l'attention des décideurs du *Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network: Climate Change and Cities*, auquel ont participé le GIS Climat et le laboratoire lees, a été lancé lors du Sommet mondial des élus locaux pour le climat qui s'est tenu à l'Hôtel de Ville de Paris le 4 décembre 2015, durant la COP21.

* <http://uccrn.org>

Activités transdisciplinaires

Le GIS Climat a également organisé plusieurs événements « transdisciplinaires » avec différentes parties prenantes (voir encadré). Les séminaires sur l'adaptation au changement climatique ont inclus des ateliers composés de chercheurs, de professionnels et de représentants de collectivités. Les projets CCTV2 et ACHIA ont également organisé des rendus de leurs travaux auprès de parties prenantes.

Le projet international IGNIS sur les toits urbains auquel le GIS Climat a été invité à participer (voir encadré), s'est concrétisé à la suite du séminaire franco-québécois « Villes et adaptation au changement climatique »⁴. Il a impliqué dans un travail de co-construction entre architectes, urbanistes, écologues, philosophes, génie civil, et autorités locales.

QUE RETENIR DE L'INITIATIVE DU GIS CLIMAT ?

Les huit années du GIS Climat, les trente-et-un projets retenus et autres activités reflètent à bien des égards les difficultés liées à la mise en place d'une dynamique interdisciplinaire mais aussi des rencontres et des hybridations remarquables. Cette expérience montre que l'interdisciplinarité est une démarche qui se construit collectivement. C'est un processus qui nécessite flexibilité, réflexivité et de nombreux va-et-vient entre réflexion et pratique. D'où l'importance d'une structure souple et à l'écoute pour faciliter la co-construction de l'objet d'étude

Lancement d'une dynamique

Comment évaluer l'apport du GIS Climat pour l'interdisciplinarité sur le changement climatique et ses impacts ? Ce serait non pas aisé mais envisageable si l'on se donne, *a priori*, une définition de l'interdisciplinarité et de ses objectifs. Ce n'est pas la posture adoptée par le GIS Climat lors de sa programmation ; ce n'est pas non plus celle retenue dans ce papier. Et, de fait, à bien des égards, l'interdisciplinarité n'a pas toujours été conçue et donc pratiquée de la même manière au sein du GIS Climat et de ses projets (Blanchard et al. 2010). Pour certains, il s'agissait de contribuer à l'unité de la science et de « *restructure and establish a better network of communication among scientific fields to respond to complex problematic, [...] an interface where "their communities can take inspiration from data, results, or methods of the other disciplines involved, to design more effective and comprehensive approach to complex topics* » (Blanchard et al. 2010:4). Dans cette perspective, la co-publication entre disciplines différentes a souvent été reconnue comme une preuve du succès de l'intégration interdisciplinaire. Pour d'autres, il s'agissait plutôt de « *reflect on the role and responsibilities of science regarding society* » et

donc de redéfinir le rôle et la place de la science dans la société. Pour ces derniers, « *la preuve de la réussite des projets se démontrera dès lors que ces derniers auront obtenu, après le GIS Climat, un autre financement (ANR, Europe...)* » (Conseil de groupement du 8 juillet 2009).

Dans ces deux cas, le GIS Climat est parvenu à engager une communauté autour de l'objet climat et à lancer une dynamique de recherche interdisciplinaire au-delà d'opérations ponctuelles. Il est parvenu à faire travailler ensemble différentes communautés et a permis de stimuler la synergie de questions de recherche et d'expertises multiples sur la question du changement climatique et ses conséquences. Il a soutenu la construction d'une compréhension commune de l'objet climat, mais a permis également une certaine « tolérance commune » à l'égard du régime de scientificité des différentes disciplines (des méthodes d'observation, privilégiées par les SHS, à celles de modélisation des sciences du climat, en passant par l'expérimentation, un des outils les plus utilisés par des sciences de la vie (extrait du cahier du participant du 8 juillet 2014).

Le GIS Climat a également joué un rôle-clé dans le développement de problématiques liant climat à d'autres thématiques (santé, biodiversité, ville, utilisation des terres, adaptation) et a permis de légitimer ces questions émergentes au sein du consortium, mais également à l'échelle internationale. Il a servi de « cadre légal » pour valider certaines questions auprès de la communauté climat en Île-de-France, comme l'étude des impacts et l'adaptation au changement climatique (extrait d'entretien). Il a ainsi consolidé sa mission à long terme de structuration interdisciplinaire de la communauté francilienne et a renforcé l'appropriation par la communauté de ses objectifs. Le GIS Climat a contribué et continue de contribuer au développement d'un réseau en Île-de-France, en France et au niveau international. Reconnu comme réseau d'expertise scientifique, il est souvent appelé à intervenir en tant que groupement en France et à l'étranger.

Le GIS Climat a également servi de tremplin, « *d'essaimage* », vers d'autres financements (ANR et/ou projets européens) (extrait d'entretien). Il a lancé une dynamique qui a pu se pérenniser dans d'autres projets au niveau national ou international. Plusieurs projets ont reçu des sollicitations pour être intégrés dans d'autres projets plus larges. C'est le cas de PAC, dont la dimension santé a pu être pleinement déployée au sein du projet européen ATOPICA sur les pollens. Le projet a ainsi permis de lancer une dynamique en soutenant la première phase d'une collaboration climat-santé qui passait en premier lieu par un développement méthodologique.

Un dernier apport du GIS Climat pour l'interdisciplinarité autour de l'objet climat, plus difficilement traçable, mais cependant pertinent, est la transformation personnelle des chercheurs qui ont participé au GIS Climat. En effet, si celui-ci a stimulé la réflexion collective au sein du consortium,

⁴ <http://www.gisclimat.fr/seminaires-ACC-villes>

il a également soutenu la réflexion personnelle des chercheurs impliqués tant au niveau de la gouvernance que des projets. Le GIS Climat a contribué à l'émergence d'un nouveau type de scientifiques plus « ouverts », « *one who will be able to more easily bridge these interdisciplinary divides* » (Schmidt and Moyer 2008). Ces interactions interdisciplinaires ont offert aux chercheurs « *de nouvelles façons de voir* » leur objet d'étude. Il a contribué à « *enrichir leur vision* » de ce que représente une recherche pertinente sur le climat. Le rapprochement vers d'autres disciplines a pu également se traduire par une « *inflexion* » des projets personnels des chercheurs vers de nouveaux horizons de recherche (extrait d'entretien). Néanmoins, cette ouverture a souvent été conditionnée par un certain pré-requis disciplinaire. Au niveau individuel, il semble que la démarche interdisciplinaire exige de ses participants de bons acquis disciplinaires, et une certaine curiosité et sensibilité à l'ouverture, avant de se lancer dans l'aventure interdisciplinaire. Toutefois, une fois le processus interdisciplinaire lancé, cette démarche demande également d'être capable de rendre ses connaissances accessibles aux autres.

Une pluralité de pratiques de l'interdisciplinarité

L'interdisciplinarité a été, pour le GIS Climat, une réflexion et une pratique en constante évolution. Ainsi, suite à la première vague de projets le CG déplorait, en 2009, le manque d'interdisciplinarité des projets proposés en 2008. Dans la seconde vague de projet, des progrès étaient notés, mais les exigences sont allées croissantes. Un désir d'aller encore plus loin, assorti d'une demande ont été exprimés en 2013, lors de l'évaluation intermédiaire des projets par le CO. Sur les dix-huit projets soumis à l'évaluation, les rapporteurs ont souligné la nécessité d'aller plus loin dans la dimension interdisciplinaire. Alors qu'en 2009, le CG soulignait le manque de partenaires et de disciplines incluses dans les projets, en 2013, cette faiblesse, liée essentiellement à la première vague de projets, se reflétait principalement dans le manque de collaboration et de dialogue entre partenaires des projets (réponses aux porteurs de projet suite à l'évaluation des rapports de 2012). Les modes et critères d'évaluation avaient évolué, les attentes changées, mais les défis étaient de même nature.

Une réflexion sur la pratique de l'interdisciplinarité du GIS Climat s'impose donc. Qu'a été l'interdisciplinarité pour le GIS Climat et comment a-t-elle évolué ? Dans cette dernière partie, nous abordons la question de la pratique interdisciplinaire au sein du consortium et tentons de mettre de l'ordre entre les différentes manières de justifier l'interdisciplinarité en fonction des enjeux et expériences de chacun. En effet, il nous semble qu'il n'existe pas une interdisciplinarité au sein du GIS Climat, mais une pluralité de pratiques, qu'une lecture

attentive des projets permet de mettre à jour. Il ne s'agit pas d'imposer une définition *top-down* de l'interdisciplinarité et d'évaluer les activités du GIS Climat en ce sens, mais de dévoiler comment elle a été comprise et mise en œuvre dans les projets et la gouvernance de celui-ci. En ce sens, le GIS Climat a servi de laboratoire de co-construction de ces pratiques.

Tant les archives que les entretiens semblent indiquer que, pour le GIS Climat, l'interdisciplinarité a pu prendre des dimensions très variées selon les porteurs et les membres du GIS Climat et que l'interdisciplinarité des projets a été fonction d'éléments contextuels liés aux équipes impliquées, à la nature des questions adressées et aux dynamiques interpersonnelles et interinstitutionnelles lancées. Dans cette dernière partie, nous revenons sur les différentes formes de pratiques interdisciplinaires développées au sein du GIS Climat. Quatre dimensions interdisciplinaires sont discutées à la lumière des projets soutenus par le groupement et illustrées par des exemples extraits des documents produits par les projets.

Première forme interdisciplinaire pratiquée par les projets du GIS Climat

Tout d'abord, l'interdisciplinarité « *aims to structure different sources of knowledge around a common topic* » (Blanchard et al. 2010:3). Deux aspects sont ici importants : « *different sources of knowledge* » et « *common topic* ».

Interdisciplinarité comme collaborations « inter » disciplines et laboratoires

L'interdisciplinarité, dans ce cas-ci, est notamment associée au nombre de disciplines représentées dans un projet. Ceci peut se limiter à « *an act of box-ticking* », comme dans le modèle des dossiers détaillés d'appel d'offre du GIS Climat à ses débuts (Blanchard 2011). Cela peut également poser les bases pour le démarrage de fertilisations croisées croissant progressivement.

Ainsi, un projet comme REGYNA est mis en valeur par les évaluateurs car il intègre l'économie, l'agronomie, le climat et la géographie. Si CCTV1 regroupe également des chercheurs d'horizons disciplinaires variés, il vise à aller plus loin. Pour CCTV1, projet en incubation, l'objectif clairement affirmé est d'explorer, pour les développer, les fertilisations croisées possibles autour de la rencontre des concepts de « trames vertes » et de changements climatiques en milieu urbain. Pour CCTV2, produit des travaux de CCTV1, « *le caractère interdisciplinaire [...] tient [en partie] dans les partenariats mis en place entre chercheurs d'horizons disciplinaires divers : climatologie, écologie des sols, écologie systémique, économie, anthropologie, modélisation urbaine, physique de l'atmosphère, sociologie* ». L'interdisciplinarité est mise en valeur par les « *interactions* », le « *lien* » entre ces

disciplines (ACCACYA) et « *la mise en place dynamique de collaborations* » (ERIC). Ce type de pratique de l'interdisciplinarité est identifié explicitement par tous les projets, mais peu est dit quant à la manière dont ces projets interdisciplinaires seront gérés. Cela laisse entendre au minimum que l'équipe travaillera sur un objet ou une thématique commune. Comme illustré dans le projet ERIC, il s'agit d'un « *exercice relativement lourd de fédération d'expertise autour de la problématique des changements climatiques [...]* ». Le projet ADCEM parle également de « *fédérer des organismes en Afrique et des experts médecins et épidémiologistes* ». Ce « caractère fédérateur » revient dans plusieurs projets. Dans une fédération, et en l'absence d'une instance fédérale, cela laisse entendre que les membres ont la possibilité d'évoluer de manière autonome par rapport aux autres membres, en soutenant au moins des « *actions concertées entre des communautés différentes* » (RISC-UV). Pour ERIC, il s'agit de partager « *les tâches entre équipes et disciplines* ». Ces collaborations nécessitent de « *se forger une culture commune* », dont le succès est néanmoins facilité par la proximité des communautés et de leur expertise. Comme le souligne CARBOSOIL, le projet associe « *des équipes du GIS Climat aux compétences et domaines d'action contrastés mais complémentaires* ».

De manière similaire, l'interdisciplinarité semble associée notamment, et pour une part importante, au nombre de laboratoires représentés dans un projet. La dominance de l'IPSL dans le portage des premiers projets du GIS Climat est entre autres à l'origine de l'ouverture vers des partenaires externes à partir de 2010. Au début du GIS Climat, le nombre restreint de laboratoires associés au groupement a pu être ressenti comme une limite à l'interdisciplinarité, en empêchant la collaboration avec des partenaires externes dont l'expertise n'était pas représentée au sein du consortium. La dimension interdisciplinaire est également mise en valeur par l'ouverture aux SHS (hors économie) dans le cadre des projets RENASEC, EPI-C3, ENVIGLOB et CCTV1 et 2. Dans le cadre du projet PLUIE TIBET, MICLIV (projet SHS s'articulant avec REGYNA afin de construire une pratique interdisciplinaire) ou encore PASTEK, l'interdisciplinarité est également renforcée par la collaboration avec des équipes étrangères, par exemple dans le Sud-Est du Tibet et en Afrique subsaharienne. Dans sa réponse au porteur du projet PASTEK, le GIS Climat reconnaît que « *l'équipe leader bénéficie d'une longue expérience au Laos, avec une très bonne connaissance du contexte agrophysique, et de solides collaborations locales, renforçant la dimension interdisciplinaire [du projet]* ».

L'interdisciplinarité peut être également renforcée par un dialogue avec la société (pratique souvent associée à la « transdisciplinarité » ou l'intersectorialité), par exemple, dans le cadre de discussions et séminaires sur l'adaptation dans les villes. Le dialogue avec les parties prenantes présente souvent le dernier

niveau de collaboration et un objectif en soi. Dans le cadre de nombreux projets qui possèdent une dimension santé, un retour vers les parties prenantes est envisagé (par exemple ACHIA). Dans le cadre de CCTV2, chercheurs et décideurs sont associés pour « *confronter les apports de la recherche aux choix politiques* ».

Interdisciplinarité autour d'un objet commun

Dans la majorité des projets soutenus par le GIS Climat, la collaboration entre plusieurs champs disciplinaires autour d'un objet commun est justifiée par l'étude du « lien », des « interactions » et des « relations » entre phénomènes et/ou processus. Elle permet d'offrir « *un panorama complet* » de l'objet d'étude (ACCACYA), ou de mettre en place une plateforme de modélisation qui « *intègre l'ensemble du système depuis la source de pollen jusqu'à la conséquence en terme de santé* » (PAC). Pour cela, la recherche passe souvent par la « caractérisation » des impacts et/ou de « l'interaction » entre des processus et facteurs (climatiques, usage des sols) à des échelles semblables ou différentes. Dans le cadre de PASTEK, le projet reposait en premier lieu « *sur une caractérisation agro-écologique, biogéochimique et géophysique des milieux* ». Il était question d'offrir « *une analyse plus détaillée du rôle des interactions hydrologiques nappe-rivière sur la mobilité des contaminants microbiologiques (germes témoins de contamination fécale) à plusieurs échelles spatiales d'observation* ». RISC-UV parle « *d'affiner le diagnostic quant à la part relative des paramètres comportementaux et environnementaux sur l'augmentation des cancers cutanés* ». Pour CCTV2, il s'agissait de « *faire travailler ensemble des chercheurs en sciences de l'atmosphère, des écosystèmes et des sociétés pour comprendre les modalités des liens entre végétation et climat* », de « *rendre compte de la dynamique de l'association climat/trame verte* ». Pour cela, les études bi-disciplinaires ont pour objectifs de « *montrer* » ou « *d'approfondir le rôle* », « *de mettre à jour les mécanismes* », dont l'objectif est de cibler « *directement la complexité des interactions entre trame vertes et changements climatiques* » et de permettre « *de saisir ce que les disciplines peuvent s'apporter mutuellement au niveau de la connaissance de ces interactions* ». Pour CCTV, l'interdisciplinarité passe par un « *effort commun* » de connaissance.

Ce besoin de caractérisation semble lié au caractère nouveau de l'étude des impacts du changement climatique et de l'adaptation, qui ont commencé à s'imposer dans les années 2000. L'étude des impacts, bien qu'aujourd'hui un objet d'étude relativement stabilisé, a nécessité à ses débuts des collaborations nouvelles entre différentes disciplines. Comme souligné par les porteurs du projet REGYNA, « *l'étude des impacts nécessite de réunir à la fois une expertise du terrain, un réseau de collaboration ainsi que des outils et*

des données sur les régions d'intérêt » et passe par de nombreuses collaborations. Il en va de même pour les questions d'adaptation : « *la mobilisation de ces disciplines [sciences humaines et sociales, sciences écologiques, sciences de l'atmosphère] fait écho à la définition de l'adaptation comme un objet complexe* » (CCTV2). Le GIS Climat a permis à ces études de s'imposer en tant qu'objet d'étude légitime.

L'interdisciplinarité autour d'un terrain commun

Un terrain commun peut également représenter une source d'interdisciplinarité, comme mis en valeur par ERIC, dont l'objectif est de « *structurer autour d'une question une équipe hautement interdisciplinaire appelée à traiter une étude de cas [...] dans le cadre d'un terrain précis [la petite côte au Sénégal]* ».

En plus de faire collaborer un nombre important de disciplines, CCTV2 introduit également une pratique innovante en proposant des études bi-disciplinaires. Plus particulièrement, il s'agit de mener conjointement les investigations sur le même terrain. A titre d'exemple, dans le cadre du terrain SHS/écologie, un stagiaire a été chargé de conduire des entretiens sur le terrain tout en se promenant avec un capteur passif dans le dos, « *pour tenter de juger du décalage ou non entre la pollution de l'air mesurée scientifiquement et localisée géographiquement et la pollution perçue par les individus* » (CCTV2). La conduite conjointe d'un terrain est une manière d'engager le dialogue entre les disciplines en commençant par mieux comprendre le travail et les méthodes des autres disciplines.

Dans le cadre de CCTV, le terrain commun peut prendre la forme d'un état-de-l'art interdisciplinaire, par une « *description des recherches menées tant en sciences humaines qu'en sciences écologiques et de l'atmosphère, ceci en vue du développement d'une contribution interdisciplinaire au champ des relations entre trames vertes et climat* ». Cette lecture transversale de la bibliographie vise « *le dépassement des perspectives relatives à chaque discipline* ».

Seconde forme interdisciplinaire pratiquée par les projets du GIS Climat

La seconde forme de l'interdisciplinarité renvoie à « *the sharing of tools, methods and approaches accross disciplines* ». En fonction du projet, la construction des savoirs sera plus ou moins entrelacée et les données, issues d'observations, d'expérimentation ou de modèles, interviennent comme outil de médiation interdisciplinaire. La caractéristique et la diversité des données occupent en effet une place importante au sein de la démarche interdisciplinaire. Ainsi, RENASEC « *a été jugé très important et interdisciplinaire [par le CO], car les bases de données historiques, souvent très documentées, constituent une source considérable potentielle de données utilisables par les climatologues et les économistes pour l'évaluation des risques liés aux*

extrêmes ». ADCEM adopte « *une approche intégrée [...] appliquée à un ensemble de données géophysiques et épidémiologiques pertinentes et validées à différentes échelles spatiales (locales et régionales)* ». L'utilisation que les projets font des données devient une source d'interdisciplinarité. Nous revenons dans cette partie sur différentes manières d'intégrer les données au sein des projets GIS Climat.

Les données comme outil de médiation interdisciplinaire

Interdisciplinarité et partage de données

Un projet comme REGYNA est dans une démarche interdisciplinaire non pas au sens d'une co-construction directe de l'objet d'étude, mais par la production scientifique d'une communauté qui sert « *d'entrée à la production d'une autre communauté* ». Comme présenté dans le projet, « *WP3 will use outputs from WP1 and WP2 to quantify climate change impacts on hydrology in South America and on agriculture in West Africa and in the Mediterranean region* ». Il en va de même dans PASTEK où « *l'estimation des débits en différents points du réseau hydrographique constituera la principale variable de sortie du modèle hydrologique couplé Cast3M-ORCHIDEE. Elle sera utilisée en variable d'entrée du modèle SENEQUE/Riverstrahler [...]* ». Il s'agit ici de « *créer un pont* » entre différentes recherches et disciplines. La relation reste néanmoins très « *linéaire* » entre l'amont et l'aval (extrait d'entretien).

Interdisciplinarité facilitée par la confrontation de données

L'interdisciplinarité des données peut également prendre la forme d'une « *utilisation conjointe de données* », d'une « *mise en commun* » des données. Dans le cadre de PAC, la démarche interdisciplinaire était également en partie justifiée par l'étude de la « *corrélation* » entre les résultats d'une communauté (concentrations simulées de pollen) et les données de l'autre communauté (les admissions/consultations pour problèmes d'asthme). PREMAPOL parle de « *mise en correspondance* » des données (obstétricales et néonatales, et d'environnement) sur une même période au moyen d'une analyse « *cas-croisés* ». Pour RISC-UV, il s'agit de « *d'évaluer la cohérence entre les produits UV restitués simultanément par les instruments satellitaires, les mesures au sol et des dosimètres individuels* ». AFOCLIM parle de « *d'analyse de la complémentarité des informations* », de « *la confrontation de mesures dendrochronologiques, isotopiques, météorologiques et hydrologiques* ». Il s'agit ici de se situer à « *l'interface* » de plusieurs disciplines en « *favorisant ainsi le décroisement entre équipes et laboratoires* ». Dans le cadre de CCTV2, une fois les données traitées disciplinairement, elles sont analysées « *conjointement, au moins en superposant les relevés de terrain (atmosphériques et sociologiques)* » ou « *en croissant rigoureusement les résultats* » ou bien « *en comparant les données de base pour réfléchir aux moyens d'affiner les résultats de chacun en fonction des apports des autres* ».

A l'issue de cet exercice, les hypothèses sont confirmées quand, par exemple, « *le modèle [...] montre que les anomalies d'incidence annuelles de méningites sont corrélées aux paramètres climatiques mensuels* » (ADCEM).

Interdisciplinarité et croisement de données

L'interdisciplinarité peut renvoyer à l'intégration de données (ou couplage). Dans le cadre de PAC, la première partie du projet visait à « *pouvoir transporter le pollen [la source de pollen, son transport et son dépôt] dans le modèle CHIMERE* » et à mettre ainsi au point une plateforme de modélisation. Dans le cadre d'ACCACYA, il s'agissait de « *permettre le couplage des données sur les émissions énergétiques et de land-use avec le cycle du carbone et les rétroactions climatiques associées* ». Dans PASTEK, un des modèles utilisés repose « sur un chainage de deux codes : ORCHIDEE pour la surface et Cast3M pour la sub surface et est alimenté par plusieurs types de données. Dans AFOCLIM, il est question « *d'intégrer dans les modèles les processus* » responsables des rétroactions climatiques. AGECCAO justifie le caractère « *interdisciplinaire* » et « *fortement intégré* » du projet dans la mesure où la « *démarche de couplage est une démarche itérative, les sorties d'un composant servant en entrée d'un autre dont les sorties sont, à leur tour, réutilisées par le premier composant* ». A l'issue de ce processus, les données et processus deviennent tellement imbriqués qu'il est impossible de les séparer. RADIOCLIMFIRE et CARBOSOIL ont également suivi ce même croisement itératif de données.

Cette approche génère un dialogue entre les communautés. Comme ce fut le cas pour HUMBOLDT, ils ont « *jointly decided to shift the focus to developing and using dynamically coupled climate-terrestrial ecosystem models as a means of facilitating interdisciplinary dialog and co-construction of research projects, away from a provider (climate modeler) - user (biodiversity modeler) interaction to create a Climate-Biodiversity interface service* ». Cela renvoie à la troisième dimension de l'interdisciplinarité : la négociation

Troisième forme de pratique de l'interdisciplinarité au sein des projets du GIS Climat

Finalement, l'interdisciplinarité peut être pratiquée comme une négociation, « *in which disciplines must learn about each other and give up some territory in the interest of long-term balance, without giving up their identity* » (Hunt 1994: 2). Cette dernière pratique de l'interdisciplinarité, souvent présentée comme le type idéal vers lequel les projets pourraient vouloir tendre, met en évidence l'intérêt potentiel, dans une dynamique d'hybridation, de passer par une phase de co-production de l'objet d'étude.

Interdisciplinarité comme lieu de confrontation

Cette dimension passe principalement par l'organisation d'ateliers collectifs, comme l'atelier de prospective organisé à Seillac et qui a donné lieu à

la rédaction collective de la feuille de route du GIS Climat. Cette dimension a été également soutenue par le financement de la phase d'incubation de plusieurs projets comme CCTV1 et ERIC. Aussi, pour ERIC, « *la première étape [du projet] consiste en l'établissement de groupes de travail réunissant chercheurs du nord et du sud et acteurs du monde socio-économique [...] débattre des priorités en matière de vulnérabilité et risques climatiques avec les acteurs concernés* ». RISC-UV présente l'animation, sous la forme de colloques pour engager un dialogue entre les communautés, comme une « *méthodologie* ». L'importance du « *networking* », sur le mode d'organisation d'ateliers pour renforcer les interactions entre les communautés au niveau local et national, est également une partie intégrale de la démarche engagée par HUMBOLT. Plus particulièrement, « *l'organisation de [...] séminaires [...], en invitant un orateur du "monde des mathématiques" et un du "monde des sciences de l'environnement/santé" invite à discuter de la manière dont un même problème (changement climatique, extrêmes, santé...) est décliné dans ces communautés* » (HAZARD). Pour RISC-UV, les séminaires et discussions informelles ont permis de mieux comprendre les motivations des uns et des autres.

La « *confrontation* » avec les chercheurs d'autres communautés est également nécessaire, en particulier sur des objets d'étude émergents : « *non seulement les objets d'études d'appartenance disciplinaire diverse sont étudiés ensemble, comme la ville, le climat et la végétalisation, mais encore les caractères multifonctionnels des objets sont reconnus et intégrés dans les études* » (CCTV2). En effet, les chercheurs de CCTV2 se sont rendus compte que non seulement, ils partageaient des approches et méthodes différentes avec les physiciens de l'atmosphère et les écologues, mais que la compréhension et la définition des concepts communs au projet (adaptation, trames vertes, changement climatique) n'étaient pas évidentes. Les séminaires collectifs avaient pour objectif de « *déconstruire* » les notions qui posent problème. La conduite de terrains bi-disciplinaires avait également pour objectif la confrontation des disciplines ; « *en plus de travaux strictement disciplinaires et comme intermédiaires de production de résultats interdisciplinaires, nous proposons d'associer les disciplines deux à deux afin que chacune puisse se confronter et se familiariser à son binôme dans le but d'une production de connaissances complexes des liens végétation-atmosphère* » (CCTV2). Dans tous les cas, il s'agit d'être « *plus à l'écoute des autres* », de lever les présupposés sur les autres disciplines pour trouver de la « *nourriture scientifique* » pour tout le monde, c'est-à-dire des questions intéressantes pour toutes les disciplines (extrait d'entretien).

Il apparaît que la négociation entre disciplines relativement proches et « *complémentaires* » est plus facile : langage, échelles, méthodes similaires.

Les difficultés s'accroissent quand les disciplines sont plus éloignées, quand les échelles spatiales et temporelles s'écartent, quand les méthodes diffèrent (qualitatif, quantitatif, micro-macro), le croisement des données étant rendu plus difficile. C'est ainsi que la singularité des acteurs sociaux s'ajuste parfois mal, ou pas du tout, aux besoins de synthèse des modélisateurs. Le temps est également un élément important : celui du sociologue n'est pas celui de l'écologue ou du modélisateur confrontés respectivement à l'étalonnage de leurs capteurs ou au paramétrage de leurs modèles.

Quatrième forme interdisciplinaire pratiquée par le GIS Climat

Cette dernière forme d'interdisciplinarité a été au centre de la recherche du projet RAMONS et montre que « *being reflexive on one's own discipline is necessary to implement interdisciplinarity* » (Blanchard et al. 2010: 3). Les chercheurs du GIS Climat considèrent qu'il est important de « *get to know each other in the personal and disciplinary dimensions and hence, foster an area of trust and openness to collaboratively reflect on and discuss the tensions that may occur in intercultural and interdisciplinary settings* » (Blanchard et al. 2010: 5). Cela passe principalement par le renforcement des actions d'animation et de maturation des projets (séminaires, conférences et ateliers), développé dans la première partie du texte. RAMONS a ainsi permis une fertilisation croisée avec d'autres projets et plus particulièrement avec HUMBOLDT et CCTV2.

A l'issue de ces dialogues, on peut voir se développer une culture commune ou pour le moins une « *tolérance commune* » entre disciplines (extrait du cahier du participant du 8 juillet 2014). Finalement, l'interdisciplinarité est aussi « une aventure humaine » (extrait d'entretien).

CONCLUSION

L'interdisciplinarité a été dès l'origine une priorité du GIS Climat mais l'expérience de ce dernier, confronté aux difficultés concrètes de sa mise en œuvre au sein des projets qui, pour certains, l'affichaient sans la vraiment la pratiquer, l'a contraint à inventer une gouvernance appropriée. Le volontarisme affiché, couplé avec les retours d'expériences des projets eux-mêmes, a jeté les bases d'une réflexivité à l'échelle de l'ensemble du consortium. Comme nous l'avons montré, le GIS Climat a été une « *plateforme pour réfléchir sur les questions de changement climatique d'un point de vue interdisciplinaire* » (extrait d'entretien). L'expérience du groupement montre que l'interdisciplinarité suppose, pour prendre forme, la conjonction entre des choix de programmation soutenant une telle orientation et une autonomie laissée à l'expérimentation de pratiques interdisciplinaires. En quelque sorte, l'application d'un principe de subsidiarité ! Mais, si les projets n'ont pas tous développé la même pratique interdisciplinaire, pour

des raisons multiples qui tiennent à la configuration du collectif humain comme aux défis scientifiques du projet, la majorité de ceux-ci ont eu en commun qu'ils nécessitaient une certaine prise de risque, tant au niveau de la collaboration envisagée, que de la collecte des données. « *Le GIS permet d'inventer en marchant* » (extrait du cahier du participant du 8 juillet 2014). Il a ainsi fonctionné comme un espace de liberté au sein duquel la définition et la pratique de l'interdisciplinarité ont évolué « avec le courant », là où les réflexions, les intérêts et motivations des membres du GIS Climat les emportaient. Le GIS Climat est ainsi devenu, comme ce fut le cas dans les programmes PIR du CNRS, un laboratoire sur l'interdisciplinarité, avec ses succès et ses échecs.

Cette synthèse met ainsi en exergue qu'une démarche interdisciplinaire ne se met pas d'elle-même en place, qu'elle nécessite une réflexion collective sur les objectifs et les pratiques de l'interdisciplinarité. Elle montre également que de nombreux outils existent pour soutenir une telle démarche et souligne en particulier la nécessité d'équiper la maturation des projets interdisciplinaires par des actions d'animation. Cette phase d'incubation permet aux différentes disciplines d'apprendre à se connaître et de construire, avec les aléas propres à toute situation de « négociation », une base conceptuelle et méthodologique commune. Dans cette perspective, il est évident que l'interdisciplinarité est pratiquée de manière différente au sein de chaque projet et programme, ce que nous avons essayé de montrer dans la seconde partie de cet article.

Dans la mesure où un projet interdisciplinaire nécessite souvent plus de temps qu'un projet traditionnel disciplinaire pour se développer, il est également important de porter un autre regard sur les exigences en matière de résultats scientifiques et de visibilité internationale. L'évaluation académique classique est appelée alors à faire cohabiter ses indicateurs d'excellence avec ceux qui relèvent plutôt d'une pertinence scientifique certes – l'interdisciplinarité fabrique une « science » - mais aussi sociale (elle permet de restituer à la société la complexité d'une situation). De ce point de vue, pour le GIS Climat, renforcer l'interdisciplinarité revenait à prendre des risques, en mettant l'accent sur le processus de construction de la démarche interdisciplinaire quitte à renoncer à la réalisation de tous les aspects du projet. Pari réussi puisque plusieurs projets, tout en ne développant pas l'intégralité de leurs objectifs initiaux, ont pu se pérenniser au sein d'autres projets nationaux ou internationaux, ce qui traduit une validation de leurs questionnements construits dans le contexte interdisciplinaire. L'interdisciplinarité ouvre ainsi une dynamique dont les fruits peuvent être pleinement récoltés dans les projets qui s'en inspireront.

Finalement, l'expérience du GIS Climat montre que l'interdisciplinarité est également une « aventure humaine », qui exige une grande volonté et

curiosité, et qui, en retour, élargit la vision des chercheurs (extrait d'entretien). Elle suggère également que l'interdisciplinarité nécessite une très bonne connaissance des acquis disciplinaires en amont.

La souplesse dont a fait preuve le GIS Climat dans sa gouvernance et ses modalités d'animation a de toute évidence été déterminante dans la possibilité de mener des expériences pratiques de l'interdisciplinarité au sein des différents projets. Ces expériences ont pu être ponctuelles, limitées à une phase du projet ou à une partie de l'équipe, elles ont pu également irriguer l'ensemble de la démarche du collectif scientifique et contribuer en cela à une approche renouvelée de l'objet climat. Quoiqu'il en soit de cette pluralité d'expériences, il importe d'en faire un capital qui soit susceptible d'inscrire dans le long terme, au niveau de l'institution de programmation comme de l'activité scientifique personnelle, un mode de travail qui s'apparente à une science en société.

RÉFÉRENCES

Blanchard, A. and Vanderlinden, J.-P. 2010. Dissipating the fuzziness around interdisciplinarity: the case of climate change research. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society (S.A.P.I.EN.S)*, vol. 3, no 1. Available from: <<http://sapiens.revues.org/990>> [February 3, 2015].

Blanchard, A. and Vanderlinden, J.-P. 2013. Prerequisites to interdisciplinary research for climate change: lessons from a participatory action research process in Île-de-France. *International Journal of Sustainable Development*, 16(1/2), 1-22.

Hunt, L. 1994. The Virtues of Disciplinarity. *Eighteenth-Century Studies*, vol. 28, no. 1.

Jollivet, M. et Legay, J.-M. 2005. Canevas pour une réflexion sur une interdisciplinarité entre sciences de la nature et sciences sociales. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 13, p. 184-188.

Joussaume, S. 2010. Le GIS Climat-Environnement-Société Renforcer la recherche interdisciplinaire sur le changement climatique et ses impacts. *La Jaune et la Rouge*.

Schmidt, G. and Moyer, E. 2008. 'A new kind of scientist'. *Nature Reports Climate Change*. Available : <http://www.nature.com/climate/2008/0808/full/climate.2008.76.html>

Fiches projets

Contributeurs :

- Y. Balkanski (RADIOCLIMFIRE)
- S. Bastin (MEDICCBIO)
- T. Brunelle (DECLIC - ACCACYA)
- C. Bonneuil (ENVIGLOB)
- R. Briday (EPIC3)
- L. Bopp (DECLIC)
- C. Chenu (CARBOSOIL)
- P. Ciais (ACACCYA)
- C. Damesin (AFOCLIM)
- S. Denvil (PRODIGUER)
- P. Drobinski (MORCEMED)
- J.P. Dutay (MEDICCBIO)
- E. Garnier (RENASEC)
- R. Generoso (MICLIV)
- S. Godin Beekmann (RISC UV - EREBUS)
- D. Hauglustaine (A-C HIA)
- JC Hourcade (DECLIC - ACACCYA)
- S. Joussaume (CLIMVIB)
- P. Leadley (HUMBOLDT)
- B. Marticorena (ADCEM)
- V. Masson Delmotte (PLUIES TIBET)
- P. Monfort (CLIMVIB)
- P. Naveau (PEPER)
- J. Quensière (ERIC)
- P. Roznberg (PREMAPOL)
- P. Saiag (SARCES)
- A. Sourdril (CCTV)
- E. Strobl (AGEGGAO)
- B. Sultan (REGYNA)
- C. Valentin (PASTEK)
- J.P. Vanderlinden (RAMONS)
- N. Viovy (PAC)

ACCACYA

Attribution des causes anthropiques du changement climatique par le cycle du carbone.

Analyse intégrée des flux de carbone incorporés dans les échanges économiques et des cycles géochimiques globaux.

| | |
|-------------------------------|--|
| Porteurs | Jean Charles Hourcade, CIRED Philippe Ciais, LSCE |
| Contacts | hourcade@centre-cired.fr philippe.ciais@lsce.ipsl.fr brunelle@centre-cired.fr |
| Période | décembre 2011 – décembre 2013 |
| Laboratoires impliqués | Labo GIS : LSCE, CIRED Labo. Hors GIS : Low Carbon Societies Network COPPE (Rio de Janeiro) The Energy Research Institute (Chine) Indian Institute of Management (Inde) MIRAJE (Modèle Intégré de Régulation Agri-environnementale, INRA) Postdam Institute for Climate Impact Research (PIK) |
| Site internet | http://www.gisclimat.fr/projet/accacya |
| | Ce projet a bénéficié d'un financement de l'ADEME. |

OBJECTIFS

Le projet ACCACYA visait à fournir un panorama complet des mécanismes modifiant la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (CO_2) en étudiant, à la fois, le volume d'émissions de chaque région du monde – du point de vue du producteur et du consommateur – et le potentiel d'absorption de ces mêmes régions. Dès lors, l'objectif était de reconstituer les causes du changement climatique d'origine anthropique, en intégrant l'influence du cycle du carbone naturel, et de permettre une discussion plus explicite des questions d'attributions de ces causes.

RÉSULTATS MAJEURS

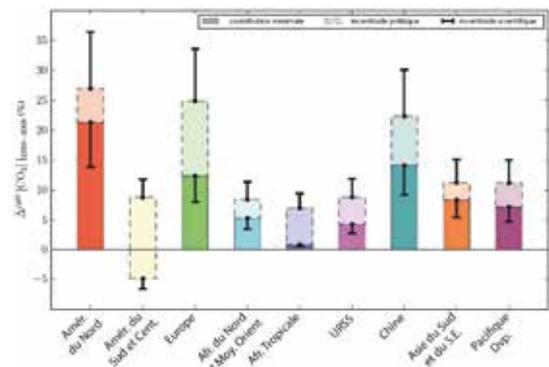
Dans un premier temps, une analyse prospective sur l'impact de changement de régime alimentaire sur l'utilisation des terres et le commerce des produits agricoles a été réalisée. En considérant quatre scénarios construits sur des hypothèses distinctes de convergence de l'alimentation, ce travail a mis en lumière le rôle central des changements de régime en tant que moteurs de tensions sur l'agriculture et l'utilisation des terres. De plus, il a montré l'incertitude associée aux processus de convergence de régime pour les exercices de prospective sur l'alimentation et l'agriculture.

Dans un second temps, un modèle régionalisé du cycle de carbone et des aérosols (OSCAR) a été adapté afin de reproduire et attribuer chaque composante de la perturbation anthropique du cycle du carbone mondial. Les conséquences de différents choix d'attribution, *i.e.* liés au mode de calcul, des contributions régionales à l'excès de CO_2 atmosphérique depuis le début de l'Ère Industrielle ont ainsi pu être estimées. OSCAR a également été développé en incluant les gaz autres que le CO_2 et l'attribution du forçage radiatif des aérosols aux émissions, en prenant en compte les boucles de rétroactions entre impact climatique des différents composés et flux naturels de CO_2 et de méthane (CH_4). Un résultat majeur est la mise en évidence du rôle important des émissions de dioxyde de soufre dans l'attribution du changement climatique aux émissions, de par l'effet du refroidissement climatique des aérosols sulfatés et leur impact sur la réduction des flux naturels de CO_2 et de CH_4 .

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Le projet incluait une forte composante interdisciplinaire puisqu'il se positionnait à l'intersection des sciences du climat, de l'environnement et de l'économie. Un important travail d'interfaçage entre les disciplines a été réalisé, notamment au travers du développement de « matrices hybrides » reliant les flux physiques aux flux économiques et de l'utilisation d'un modèle d'usages des sols reposant sur des données économiques et biophysiques. En ce qui concerne les puits de CO_2 , l'élimination du carbone peut être attribuée soit à la région sur laquelle est produite l'élimination (absorbeur), soit au pays qui induit la suppression de ses émissions (émetteur). Elle entraîne deux attributions possibles (l'écart étant appelé « l'incertitude politique ») de l'augmentation du CO_2 atmosphérique de 1990 à 2008.

FIGURE CLÉ



Les deux attributions possibles de l'augmentation du CO_2 atmosphérique de 1990 à 2008.

En ce qui concerne les puits de CO_2 , l'élimination du carbone peut être attribuée soit à la région sur laquelle est produite l'élimination (absorbeur) soit au pays qui induit la suppression de ses émissions (émetteur). Elle entraîne deux attributions possibles (l'écart étant appelé « l'incertitude politique ») de l'augmentation du CO_2 atmosphérique.

Source : projet ACCACYA.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Brunelle, T., et al., 2014, **The impact of globalization on food and agriculture : the case of the diet convergence**, *The Journal of Environment & Development*.

Cet article démontre, à partir de quatre scénarios de consommation alimentaire représentatifs, l'importance de la convergence des régimes alimentaires comme facteur de tensions sur les usages des sols. Les interactions entre le scénario alimentaire et les autres politiques affectant les usages des sols – soutien aux biocarburants et réduction de la déforestation – sont aussi mises en lumière, et certaines options permettant de réduire les tensions sur la ressource foncière testées.

Gasser, T., Ciais, P., 2013, **A theoretical framework for the net land-to-atmosphere CO_2 flux and its implications in the definition of emissions from land-use change**, *Earth System Dynamics* 4, 171–186.

Cet article développe un cadre théorique d'analyse des flux nets de CO_2 entre la terre et l'atmosphère afin de discuter les définitions possibles des « émissions du changement d'usages des sols ».

Ciais, P. et al., 2013, **Attributing the increase of atmospheric CO_2 to emitters and absorbers**, *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate1942.

Gasser, T., et al., 2013, **Regional attribution of the effects of anthropogenic CO_2 emissions on the carbon-cycle: 1. methodology**, *Global Biogeochemical Cycles* (in review).

Gasser, T., et al., 2013, **Regional attribution of the effects of anthropogenic CO_2 emissions on the carbon-cycle: 2. attribution**, *Global Biogeochemical Cycles* (under revision).

A-C HIA

Air Pollution and Climate Change Health Impact Assessment.

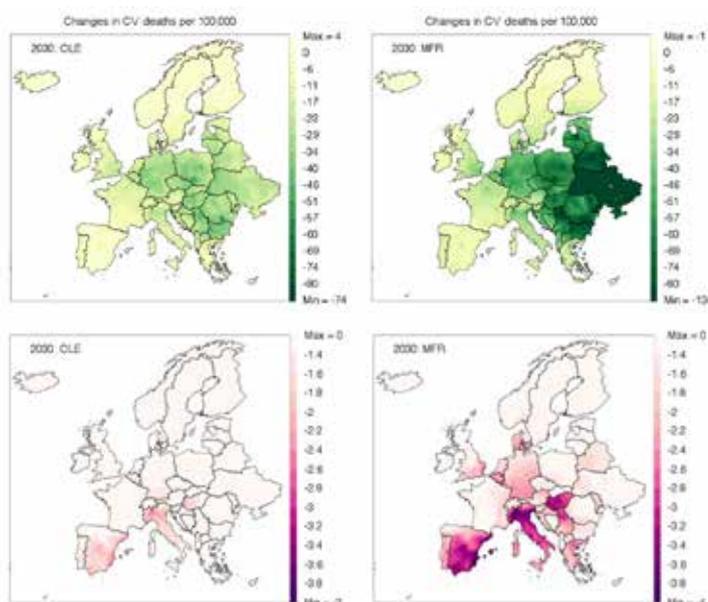
| | |
|-------------------------------|--|
| Porteurs | Patrick Kinney, Columbia University Didier Hauglustaine, LSCE |
| Contacts | plk3@columbia.edu didier.hauglustaine@lsce.ipsl.fr |
| Période | décembre 2011 – mars 2014 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | LSCE, LMD, REEDS |
| Labo. Hors GIS : | Institut de veille sanitaire (INVS) Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) AIRPARIF Observatoire régional de santé Île-de-France (ORS) Université de Columbia |
| Site internet | http://www.gisclimat.fr/projet/achia |

Ce projet à bénéficié d'un financement de l'ADEME.

OBJECTIFS

L'objectif général de ce projet était d'appliquer des modèles de climat, de qualité de l'air et de santé afin d'évaluer les éventuels impacts futurs, sur la santé, de l'évolution de l'ozone troposphérique et des particules (PM_{2,5}) suivant différents scénarios de changement climatique à trois échelles spatiales : mondiale, régionale (Europe) et en milieu urbain (Paris).

FIGURE CLÉ



Évolution des décès associés aux évolutions des particules fines (en vert) et de l'ozone (en rose) en Europe en 2030 par rapport à 2010 pour 100 000 habitants – réglementation actuelle (gauche), baisse maximale techniquement faisable (droite).
Source : projet A-C HIA.

RÉSULTATS MAJEURS

Le projet A-C HIA s'est déroulé entre 2011 et 2014. Il a rassemblé des spécialistes de la modélisation de la qualité de l'air, du climat, et de l'épidémiologie. Le projet a comparé les bénéfices attendus sur la santé de différents scénarios de politiques de réduction des émissions polluantes entre 2010, 2030 et 2050, tout en prenant en compte les évolutions climatiques sur la même période. Le scénario le plus ambitieux en terme de réduction des émissions de polluants permettrait de sauver jusqu'à 1,5 millions de personnes chaque année dans le monde dès 2030. Cependant, dès 2050, l'influence négative du changement climatique sur la pollution de l'air contrebalancerait, dans certaines zones, les effets des politiques visant à améliorer la qualité de l'air. Les interactions fortes entre pollution et changement climatique offrent cependant l'opportunité de gagner sur les deux tableaux. Dans les prochaines années, des bénéfices substantiels pour la santé publique pourraient être obtenus grâce à des stratégies coordonnées de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'amélioration de la qualité de l'air.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Le projet A-C HIA a rassemblé des spécialistes de la modélisation de la qualité l'air et du climat à différentes échelles spatiales qui ont fourni des distributions de l'ozone et des particules à la surface pour le globe, l'Europe et l'Île-de-France et pour la période présente et le futur (2030, 2050) suivant différents scénarios d'évolution des émissions de polluants. Des épidémiologistes ont ensuite utilisé ces résultats et appliqué des relations doses-réponses pour déterminer l'impact de la pollution sur la santé.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Likhvar, V., Hauglustaine, D., Kinney, P., Colette, A., Valari, M., Markakis, K., Pascal, M., Medina, S., **Estimation des impacts sanitaires futurs de la pollution de l'air dans le monde, en Europe et en Île-de-France : le projet A-C HIA**, *La Météorologie*. Parution prévue en avril 2016.

Likhvar, V N., Pascal, M., Markakis, K., Colette, A., Hauglustaine, D., Valari, M., Klimont, Z., Medina, S., Kinney, P., 2015, **A multi-scale health impact assessment of air pollution over the XXIst century**, *Science of The Total Environment*, Volume 514, 1 May 2015, Pages 439–449.

Cet article résume les résultats du projet A-C HIA. Il compare les bénéfices attendus sur la santé de différents scénarios de réduction des émissions polluantes entre 2010, 2030 et 2050, tout en prenant en compte les évolutions climatiques sur la même période.

Likhvar, V. N., Pascal, M., Markakis, K., Colette, A., Hauglustaine, D., Valari, M., Medina, S., Kinney, P., 2015, **Estimer les impacts sanitaires futurs de la pollution de l'air dans le monde, en Europe et en Île-de-France : le projet Air Climate Health Impact Assessment (A-C HIA)**, brochure.

Cette brochure, largement diffusée, présente le projet ACHIA et résume, en français, les résultats obtenus.

Colette, A., Bessagnet, B., Rouil L., Koelmeijer R., Maas R., 2012, **On the role of low carbon scenarios on 2050 European air quality and radiative forcing**, ETC/ACM Technical Report, EEA.

Les résultats préliminaires de simulations A-C HIA à l'échelle continentale ont été introduits dans un rapport du Centre thématique européen sur la qualité de l'air et l'atténuation de l'Agence européenne pour l'environnement pour laquelle l'INERIS est en charge de la partie « qualité de l'air et interconnexions climatiques. »

ADCEM

Impacts des aérosols désertiques et du climat sur les épidémies de méningites au Sahel

| | |
|-----------------|---|
| Porteurs | Béatrice Marticorena, LISA |
| Contacts | beatrice.marticorena@lisa.u-pec.fr |
| Période | septembre 2009-septembre 2012 |
| Thèse | Impact des aérosols désertiques et du climat sur les épidémies de méningites au Sahel. Adrien Deroubaix (LOCEAN, Paris; BIOGEOSCIENCES, Dijon) Thèse soutenue le 17 septembre 2013. |

Laboratoires impliqués

| | |
|------------------|--|
| Labo GIS : | iEES, LISA, LMD, LOCEAN |
| Labo. Hors GIS : | Laboratoire d'optique appliquée (LOA) BIOGEOSCIENCES, équipe Centre de recherche de climatologie (CRC) Laboratoire des technologies innovantes (LTI) UMR Maladies infectieuses et vecteurs : écologie, génétique, évolution et contrôle (MIVEGEC) |

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/adcem>

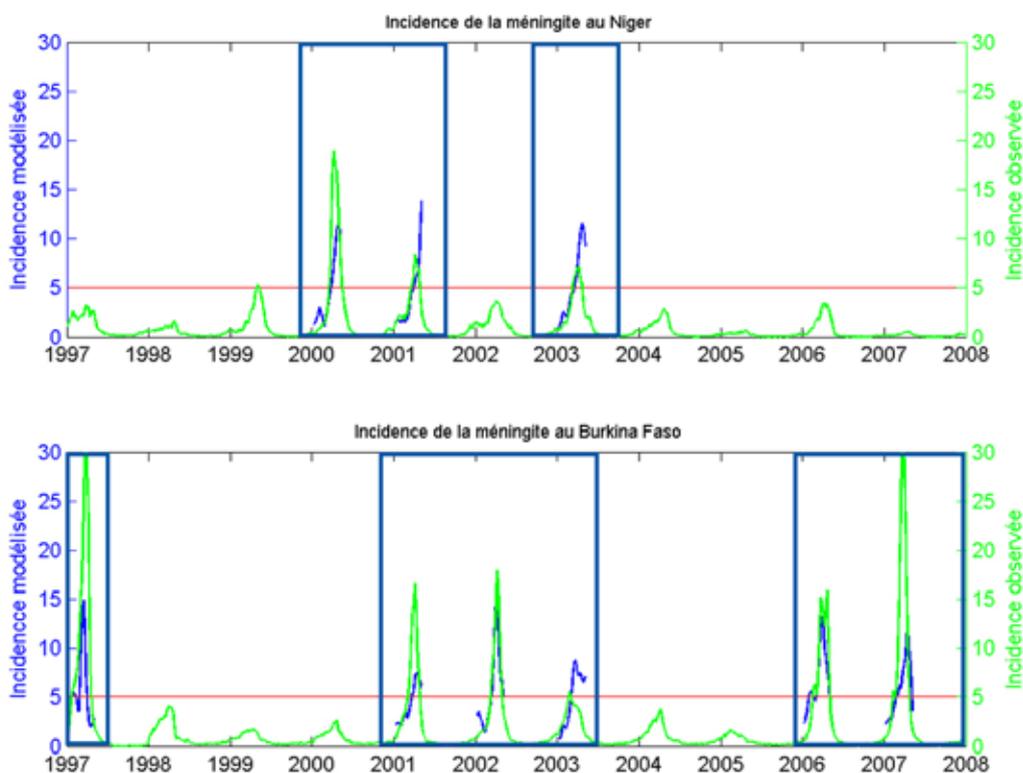
RÉSULTATS MAJEURS

Un premier résultat, issu de ce projet, est qu'il est possible d'utiliser des produits satellitaires d'aérosols pour étudier les impacts sur la santé si l'on tient compte des biais liés à leur répartition verticale dans l'atmosphère, ce qui peut être fait par une analyse en « type de temps » ou en « corrigeant » ces produits par un cycle saisonnier typique des concentrations de surface en aérosols mesurées *in situ*. Les données concernant les aérosols désertiques, les conditions climatiques et les cas de méningites collectées sur trois pays sahéliens parmi les plus touchés par les épidémies (Mali, Niger, Burkina Faso) ont mis en évidence un phasage des démarrages épidémiques et de l'indice d'aérosol, avec un décalage temporel d'une à deux semaines cohérent avec le temps d'incubation de la bactérie. Les années de fortes épidémies sont marquées par l'association de conditions de température et de contenu en aérosols très spécifiques. Une méthode statistique a permis de modéliser l'incidence des méningites à partir de ces deux variables. Ce modèle explique un tiers de la variabilité de l'incidence à l'échelle des districts, des régions et des pays et reproduit certaines spécificités des épidémies observées, plus précoces au Burkina-Faso qu'au Niger et au Mali, et moins fréquentes au Mali. Le modèle appliqué aux années épidémiques reproduit bien la dynamique temporelle des phénomènes observés ainsi que les dates de dépassement du seuil épidémique fixé par l'Organisation mondiale de la santé. Ce travail ouvre de nombreuses perspectives pour la mise au point d'un système d'alerte précoce à partir d'observations satellitaires ou de simulations régionales des concentrations en aérosols désertiques.

OBJECTIFS

La méningite cérébro-spinale est un problème de santé publique majeur dans plusieurs pays d'Afrique composant « la ceinture méningitique » qui s'étend du Sénégal à l'Éthiopie. Le projet ADCEM visait à évaluer le lien entre les aérosols désertiques, les conditions atmosphériques et les épidémies de méningites afin de prévoir l'influence de ces facteurs sur la dynamique spatiale et temporelle des épidémies.

FIGURE CLÉ



Incidence (nombre de cas pour 100 000 personnes) de cas de méningite observée et modélisée pour les années épidémiques (encadrées) au Niger et au Burkina- Faso entre 1997 et 2008 (la ligne horizontale signale le seuil d'alerte épidémique de cinq cas pour 100 000 personnes).
Figure adaptée de Deroubaix, 2013.



© CNRS Photothèque / Françoise Guichard, Laurent Kergoat.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

La réussite de ce projet est en grande partie liée à son caractère interdisciplinaire. Il a rassemblé des chercheurs en géophysique, spécialistes des aérosols désertiques par mesures *in situ* et télédétection et du climat sahélien, des chercheurs en statistiques appliquées à l'environnement et des épidémiologistes dont les compétences sur la question des méningites dans la région sahélienne étaient clairement établies. Ces compétences diverses et complémentaires ont notamment permis d'entourer d'avis éclairés sur chacun de ces thèmes le thésard en charge de l'étude des liens entre ces différentes composantes.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet CNES **TELED**M (Télédétection des dust pour les impacts méningites en Afrique de l'Ouest).

2014-2015 - Porteur : N. Martiny, BIOGEOSCIENCES, CRC, Dijon

Projet ANR **DRUMS** (Desert dust modeling : performance and Sensitivity evaluation).

2013-2016 - Porteur : B. Marticorena, LISA, Créteil.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Impact des aérosols désertiques et du climat sur les épidémies de méningites au Sahel.

Thèse soutenue par Adrien Deroubaix (LOCEAN, Paris ; CRC, Dijon) en septembre 2013.

http://climatologie.u-bourgogne.fr/documents/deroubaix/these_AD_vLib.pdf

Agier L, Deroubaix A, Martiny N, Yaka P, Djibo A, Broutin H., 2013, **Seasonality of meningitis in Africa and climate forcing: aerosols stand out**, *J. R. Soc. Interface*, 10: 20120814, <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2012.0814>.

Cette étude vise à définir et à comparer, au niveau des districts, la saisonnalité des méningites bactériennes, du climat et des poussières au Niger par des analyses en ondelettes. Les résultats mettent clairement en évidence les effets de la poussière par rapport au vent, l'humidité ou la température. Combinée à l'hypothèse que la poussière endommage la muqueuse du pharynx et facilite l'invasion des bactéries, cette étude renforce l'hypothèse du rôle des poussières sur la saisonnalité des méningites.

A. Deroubaix, N. Martiny, I. Chiapello, B. Marticorena, 2013, **Suitability of OMI aerosol index to reflect surface conditions for studying the impact of mineral dust on health in the Sahel : preliminary application to meningitis epidemics**, *Remote Sens. Environ.*, 133, 116–127, 2013.

Cet article étudie la pertinence des produits aérosol issus de la télédétection (par exemple l'Indice d'aérosol absorbant de l'instrument TOMS) pour représenter les concentrations de surface d'aérosol au Burkina Faso, au Mali et au Niger, et donc pour aider à quantifier l'influence des aérosols désertiques sur la santé, et en particulier sur les épidémies de méningite. Les principales conclusions sont que l'OMI-AI est adapté pour les études d'impact de la méningite, tout particulièrement de janvier à mars, sur une base hebdomadaire, permettant une exploitation du début jusqu'au pic des épidémies.

Yahi H., B. Marticorena, S. Thiria, B. Chatenet, C. Schmechtig, J. L. Rajot and M. Crepon, 2013, **Statistical relationship between surface PM₁₀ concentration and aerosol optical depth over the Sahel as a function of weather type using neural network methodology**, *J. Geophys. Res.*, 118, 13265–1328.

Cet article décrit la méthode statistique utilisée pour identifier les « types de temps » au Sahel (Niger, Mali) et leur influence sur la relation entre concentration de surface en aérosols et épaisseur optique en aérosols. Ces deux paramètres sont corrélés de façon significative pour les principaux types de temps du régime d'Harmattan, mais avec des différences de pente liées à des différences de distribution verticale. Cette approche permet de restituer de façon très satisfaisante les concentrations de surface à partir de l'épaisseur optique en aérosol et des conditions météorologiques locales.

Martiny, N. and I. Chiapello, 2013, **Assessments for the impact of mineral dust on the meningitis incidence in West Africa**, *Atmospheric Environment*, 70, 245-253.

AFOCLIM

Les arbres forestiers face aux variations du climat : comprendre le passé et prévoir le futur par l'analyse des cernes des arbres

| | |
|-------------------------------|---|
| Porteurs | Claire Damesin, ESE |
| Contacts | claire.damesin@u-psud.fr |
| Période | Avril 2008 – août 2011 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | LSCE, ESE |
| Labo. Hors GIS : | Ecologie et ecophysiologie forestières (EEF), Nancy Interactions et dynamique des environnements de surface (IDES), Orsay |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/afoclim |

OBJECTIFS

Le projet AFOCLIM visait à caractériser les réponses des forêts face aux variations climatiques, en utilisant les caractéristiques des cernes des arbres (largeur, composition isotopique en ^{13}C et $\delta^{18}\text{O}$). Les liens entre caractéristiques des cernes et climat ont été examinés par des approches à la fois dendrochronologique et fonctionnelle dans le but, par la suite, de conduire à l'amélioration des modèles simulant la croissance des arbres ainsi qu'à de meilleures reconstitutions paléoclimatiques.

RÉSULTATS MAJEURS

La croissance et les signaux isotopiques dans les cernes ont été étudiés chez trois espèces tempérées majeures de la forêt de Fontainebleau (hêtre, chêne sessile et pin sylvestre) aux échelles de temps à la fois intra-annuel et interannuel. Des expérimentations de terrain ont permis d'examiner la dynamique saisonnière de croissance et de composition isotopiques en ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) des cernes. La phénologie (notamment dates de débournement et début et fin de croissance) sont essentielles pour comprendre les différences interspécifiques. Il a aussi été montré chez le chêne que le $\delta^{13}\text{C}$ du bois final peut être utilisé comme indicateur saisonnier de l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE). A l'échelle interannuelle, les corrélations obtenues avec les largeurs, isotopes et le climat diffèrent entre espèces et peuvent être, en partie, expliquées par le fonctionnement de ces dernières. Les résultats suggèrent une vulnérabilité différentielle aux futurs changements climatiques. Les trois espèces sont sensibles aux sécheresses estivales mais, par exemple, les températures maximales estivales affecteront aussi probablement principalement le hêtre et le pin. L'étude sur les hêtres dépérissants montre que les arbres atteints sont caractérisés par une croissance saisonnière fortement diminuée en durée et vitesse. A l'échelle interannuelle, on peut observer que ces affaiblissements de croissance remontent à 1959 et s'accroissent à chaque nouvelle forte sécheresse (labo EEF). Côté isotopie, les différences de $\delta^{13}\text{C}$ s'accroissent aussi entre les sécheresses de 1976 et de 2003. Ces résultats montrent les racines, parfois anciennes, des dépérissements actuels et l'intérêt des cernes pour pouvoir les repérer.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

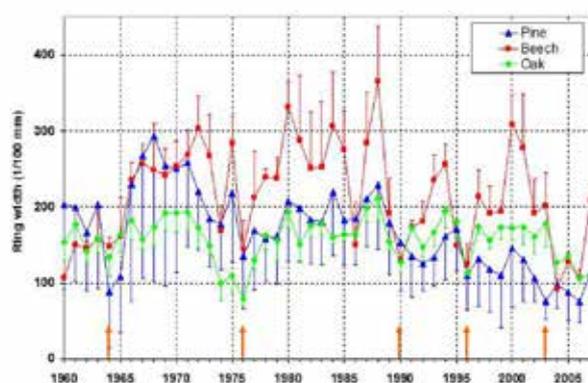
Les relations entre les caractéristiques des cernes et du climat ont été examinées en utilisant, à la fois, une approche de type paléoclimatique-dendrochronologique (par corrélation, laboratoires LSCE et EEF) et une approche fonctionnelle (par les processus écophysiologiques, laboratoire ESE). L'étude a permis de montrer le rôle de « filtre » du fonctionnement de l'espèce et de caractériser la variabilité entre arbres et parcelles. Ces informations, relativement rares, permettent d'améliorer les choix d'échantillonnage pour les approches paléoclimatiques.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet EC2CO (CNRS INSU) « Vers une compréhension fonctionnelle des dépérissements forestiers : cas des feuillus de Fontainebleau et des conifères de Provence ».
2012 - Porteur : C.Damesin, ESE.

Projet R2DS « Étude des trajectoires fonctionnelles des dépérissements forestiers : cas du massif de Fontainebleau (hêtre-chêne) ».
2013 - Porteur : C.Damesin, ESE.

FIGURE CLÉ



Dynamiques interannuelles de croissance chez trois espèces tempérées (chêne sessile, pin sylvestre et hêtre) au cours de la fin du XX^{ème} siècle dans la forêt de Fontainebleau. Les flèches indiquent les années avec une sécheresse majeure. Source : projet AFOCLIM.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Michelot A., Eglin T., Dufréne E., Lelarge-Trouverie C., Damesin C., 2011, **Comparison of seasonal variations in water-use efficiency calculated from the carbon isotope composition of tree rings and flux data in a temperate forest**, *Plant Cell and Environment* 34: 230-244.

Cet article améliore notre compréhension de la signification fonctionnelle du $\delta^{13}\text{C}$ (composition isotopique en ^{13}C) mesuré dans les cernes. Il montre que, chez le chêne sessile, le $\delta^{13}\text{C}$ intra cerne mesuré sur le bois final peut être utilisé comme un enregistrement saisonnier des variations d'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE). Une importante variabilité interindividuelle des amplitudes de variations du $\delta^{13}\text{C}$ dans le cerne a été reliée au degré de compétition subi par l'arbre.

Michelot A., Simard S., Rathgeber C., Dufréne E., Damesin C., 2012, **Comparing the intra-annual wood formation of three European species (Fagus sylvatica, Quercus petraea and Pinus sylvestris) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics**, *Tree physiology*, 32(8):1033-1045.

Cet article caractérise, chez les trois espèces majeures de la Forêt de Fontainebleau (hêtre, chêne sessile, pin sylvestre), les contrastes de croissance saisonnière du tronc en terme de période, vitesse et durée. Pour toutes les espèces, la croissance totale dépend surtout de la durée de croissance et notamment de la date d'arrêt (plus que de la vitesse). La mobilisation des réserves est plus ou moins marquée selon l'espèce (plus forte chez le chêne), en lien avec la date de débournement.

Michelot A., Bréda N., Damesin C., Dufréne E., 2012, **Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of Fagus sylvatica, Quercus petraea and Pinus sylvestris in a temperate forest**, *Forest Ecology and Management*, 265:161-171.

Cet article met en évidence les déterminants climatiques de la croissance de trois espèces tempérées majeures (hêtre, chêne sessile et pin sylvestre) par une étude dendroclimatique sur la période 1960-2007 en forêt de Fontainebleau. Pour les trois espèces, la croissance radiale est corrélée aux précipitations entre mai et juin. Toutefois, des sensibilités contrastées apparaissent, la croissance du pin étant sensible aussi aux précipitations tardives (août), celle du hêtre aux températures estivales élevées et celles du chêne aux faibles températures de l'année précédente.

Porteur Eric Strobl, PREG
Contacts eric.strobl@polytechnique.edu
Période décembre 2011 - décembre 2013
Laboratoires impliqués
Labo GIS: CIREN, LMD, LOCEAN, METIS, Laboratoire d'économétrie de l'École Polytechnique
Site internet
<http://www.gisclimat.fr/projet/ageccao>

OBJECTIFS

Le projet AGECCAO avait pour objectif d'évaluer les coûts et bénéfices de l'adaptation au changement climatique et des dommages résiduels en Afrique de l'Ouest, dans les secteurs de l'agriculture et de l'eau. AGECCAO souhaitait proposer une valorisation économique à même d'intéresser directement les décideurs et le public, ainsi qu'un outil potentiellement généralisable : une plateforme de modélisation de l'adaptation du secteur de l'eau couplant valorisation économique, hydrologie et choix de règles opérationnelles. Ce projet

constituait une suite au projet REGYNA pour apporter une démarche plus interdisciplinaire incluant l'économie et pour traiter de l'adaptation.

RÉSULTATS MAJEURS

Le projet a rencontré des difficultés liées au départ du post doctorant travaillant sur la partie irrigation et a été arrêté en cours de route. Seul un travail partiel a pu être réalisé.

L'équipe du LMD a extrait des données de surface nécessaires pour forcer le modèle d'irrigation du CIREN sur l'Afrique de l'Ouest. Il a pu montrer l'importance d'une répartition détaillée du sol (onze couches) nécessaire pour reproduire la variabilité du cycle hydrologique continental.

L'équipe du CIREN, dans la suite du projet REGYNA, a pu améliorer le modèle de culture pour y inclure, entre autres, l'impact de fertilisation et de pratique de cultures.

L'équipe de PREG, en charge de la partie irrigation, a travaillé sur la demande en eau pour l'agriculture en s'appuyant sur l'Afrique du Sud en attendant d'avoir accès à des données pour l'Afrique de l'Ouest. Elle a également commencé un travail sur la demande en hydrologie électrique.



© Blanchon, Patrick, IRD.

CARBOSOIL

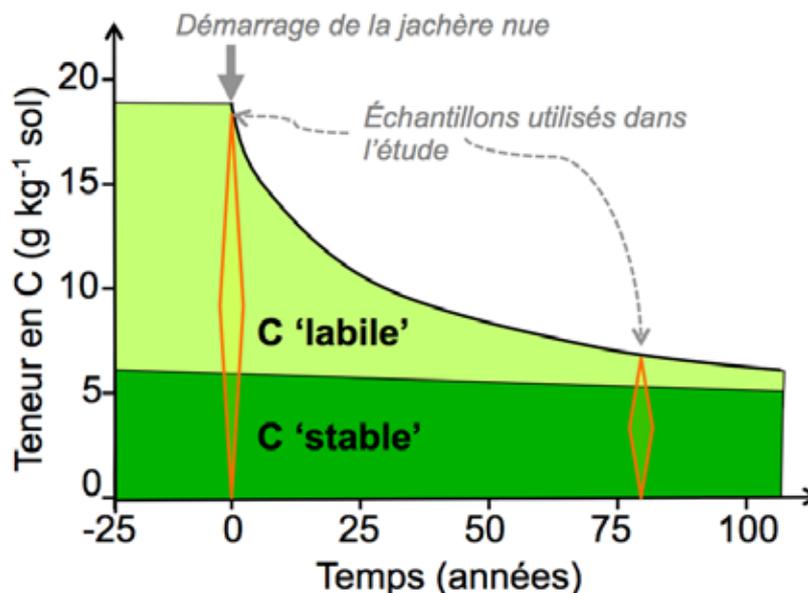
Mieux comprendre la dynamique du carbone des sols afin d'en améliorer la modélisation dans un contexte de changement climatique

| | |
|-------------------------------|---|
| Porteur | Claire Chenu, iEES |
| Contacts | chenu@grignon.inra.fr |
| Période | septembre 2008 – juin 2012 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | LSCE, ESE, iEES |
| Labo. Hors GIS : | UMR Environnement et Grandes Cultures, Grignon |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/carbosoil |

OBJECTIFS

L'évolution du carbone dans les sols a un impact majeur sur le changement climatique, et inversement. Si les outils actuels pour simuler l'évolution des matières organiques dans les sols rendent relativement bien compte de la taille des stocks existants dans les différents écosystèmes, ils ne sont pas adaptés pour prédire l'évolution du carbone du sol, que ce soit sous l'effet du réchauffement climatique ou de modifications de l'usage des terres ou encore de pratiques culturales. Ce projet visait à améliorer la modélisation de la dynamique du carbone dans les sols par une prise en compte plus réaliste du fonctionnement des sols, intégrant les connaissances nouvelles sur les processus gouvernant la biodégradation des matières organiques.

FIGURE CLÉ



Représentation schématique de l'évolution, au cours du temps, de la teneur en carbone de sol d'une jachère nue de longue durée, permettant de disposer d'échantillons de sol enrichis en carbone stable. Cette approche a généré de nombreux travaux expérimentaux au sein du réseau européen de jachères nues de longue durée créé durant le projet.

RÉSULTATS MAJEURS

Une activité importante de synthèse de l'état des connaissances et de méta-analyses de données de la littérature a été réalisée dans le cadre du projet, qui ont permis :

- de ré-estimer l'impact d'une pratique de plus en plus répandue et assez médiatisée, le non labour, sur le stockage de carbone dans les sols et d'en montrer la dépendance aux entrées de carbone au sol (rendements, restitutions) ;
- de montrer comment les méthodes expérimentales affectent l'estimation de la sensibilité de la décomposition des matières organiques du sol à la température ;
- de proposer des lois d'action de la teneur en eau des sols sur la décomposition des matières organiques, basées sur une approche empirique, qui tiennent compte des caractéristiques des sols (teneur en argile et en matière organique).

Le projet a mis à profit l'existence d'essais agronomiques de longue durée, revisités à l'aune de questions sur la dynamique du carbone. Ainsi, un essai pluri-décennal d'apport de matières organiques plus ou moins humifiées au sol a permis d'évaluer l'impact à long terme du *priming effect*, une sur-minéralisation des matières organiques humifiées du sol lors de l'apport de matières organiques fraîches, un autre de tester un nouveau modèle de dynamique du carbone prenant en compte et le *priming effect* et la profondeur du sol. Enfin, CARBOSOIL a permis d'initier un réseau international de « jachères nues » (LTBF Network) de longue durée (plus de trente ans) incluant six stations européennes : Askov (Danemark), Grignon et Versailles (France), Kursk (Russie), Rothamsted (UK), et Ultuna (Suède) fournissant une opportunité unique pour tester les modèles et isoler le carbone stable du sol.



DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce projet a associé expérimentateurs et spécialistes des processus élémentaires avec des modélisateurs traitant des impacts aux échelles régionale et globale.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Réseau international LTFB Network.

Deux projets INSU (EC2CO) et un projet ADEME ont été induits par le projet CarboSoil.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Cardinael, R., Eglin, T., Neill, C., Houot, S. and Chenu, C., 2015, **Is priming effect a significant process for long-term SOC dynamics? Analysis of a 52-years old experiment**, *Biogeochemistry*, 123, 203-219 DOI 10.1007/s10533-014-0063-2

Menichetti, L., Houot, S., van Oort, F., Katterer, T., Christensen, B.T., Chenu, C., Barre, P., Vasilyeva, N.A. & Ekblad, A., 2015, **Increase in soil stable carbon isotope ratio relates to loss of organic carbon: results from five long-term bare fallow experiments**, *Oecologia*, 177, 811-821.

Lefevre R. , Barré P., Moyano F., Christensen B.T., Katterer T., Houot S., van Oort F., Chenu C. 2014, **Higher temperature sensitivity for stable than for labile soil organic carbon—Evidence from incubations of long-term bare fallow soils**, *Global Change Biology*, 20, 633–640

Guenet, B., Eglin, T., Vasilyeva, N., Peylin, P., Ciais, P., Chenu, C., 2013, **The relative importance of decomposition and transport mechanisms in accounting for C profiles**, *Biogeosciences* 10, 2379-2392

Hamdi, S., Moyano, F., Sall, S., Bernoux, M., Chevallier, T., 2013, **Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions**, *Soil Biology & Biochemistry*, 58, 115-126.

Moyano, F., Manzoni, S., Chenu, C., 2013, **Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models (review)**, *Soil Biology & Biochemistry* 59, 72-85.

Virto I., Barré P., Burlot A., and Chenu C., 2012, **Carbon input differences explain the variability in soil organic C storage of no-tilled compared to inversion tilled agrosystems**, *Biogeochemistry*, 108, 17–26, DOI: 10.1007/s10533-011-9600-4.

Moyano, F. E., Vasilyeva, N., Bouckaert, L., Cook, F., Craine, J., Curiel Yuste, J., Don, A., Epron, D., Formanek, P., Franzluebbers, A., Ilstedt, U., Kätterer, T., Orchard, V., Reichstein, M., Rey, A., Ruamps, L., Subke, J.A., Thomsen, I.K., Chenu, C., 2012, **The Moisture Response of Soil Heterotrophic Respiration: Interaction with Soil Properties**, *Biogeosciences*, 9, 1173-1182, doi:10.5194/bg-9-1173-2012

Barré, P., T. Eglin, B.T. Christensen, P. Ciais, S. Houot, T. Kätterer, F. van Oort, P. Peylin, P.R. Poulton, V. Romanenkov, C. Chenu, 2011, **Long-term bare fallow experiments offer new opportunities for the study of stable carbon in soil**, *Agrochimica*, 12. p.28-36.

Eglin, T., Ciais, P., Piao, S. L., Barré, P., Bellassen, V., Cadule, P., Chenu, C., Gasser, T., Reichstein, M. and Smith, P., 2011, **Overview on Response of Global Soil Carbon Pools to Climate and Land-Use Changes, in Sustaining Soil Productivity in Response to Global Climate Change**, *Science, Policy, and Ethics* (eds T. J. Sauer, J. M. Norman and M. V. K. Sivakumar), Wiley-Blackwell, Oxford, UK. doi:0.1002/9780470960257.ch13.

Barré P., Eglin T., Christensen, B.T., Ciais, P., Houot, S., Kätterer, T., van Oort, F., Peylin, P., Poulton, P.R., Romanenkov, V., and Chenu, C., 2010, **Quantifying and isolating stable soil organic carbon through long-term bare fallow experiments**, *Biogeosciences*, 7, 3839–3850, doi:10.5194/bg-7-3839-2010.

Eglin T., Ciais, P., Piao, S.L., Barré, P., Bellassen, V., Koven, C., Cadule, P., Chenu, C., Gasser, T., Reichstein M. and Smith, P., 2010, **Historical and future perspectives of global soil carbon response to climate and land-use changes**, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 62:5, 700–718.

CCTV 1&2

Changement Climatique et Trames Vertes

| | |
|-------------------------------|---|
| Porteurs | Anne Sourdril, LADYSS |
| Contacts | anne.sourdril@u-paris10.fr |
| Période | incubation : octobre 2009 - octobre 2010 projet : octobre 2011 – mars 2014 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | LADYSS, LSCE, iEES |
| Labo. Hors GIS : | Laboratoire Image, ville et environnement (LIVE) |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/cctv2 |

Ce projet a bénéficié d'un financement de l'ADEME.

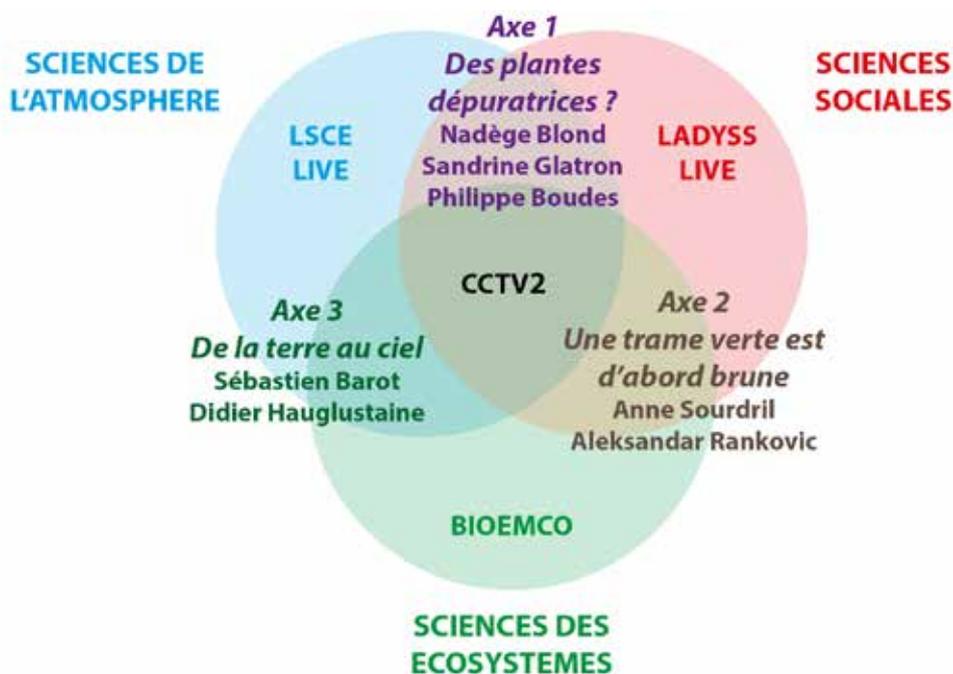
OBJECTIFS

Lancé après une phase d'incubation d'une année (CCTV1), CCTV2, programme pluridisciplinaire mobilisant des équipes de recherche en sciences sociales, en sciences de l'atmosphère et en écologie avait pour objet d'étude initial la mise au jour des relations entre les trames vertes et l'adaptation au changement climatique pour les scientifiques, les gestionnaires et les citoyens. Les chercheurs de CCTV2 ont voulu montrer, au cours de ce programme, que ces relations, souvent plus généralement exprimées en terme de végétation que de trame verte en ville, ne pouvaient être appréhendées sans référence aux caractéristiques locales des territoires concernés et sans référence aux enjeux écologiques ou biophysiques mais aussi politiques et sociaux de la question de la végétation en ville.

RÉSULTATS MAJEURS

Les recherches effectuées ont permis de caractériser les principaux registres de discours autour de la végétation urbaine par les acteurs et, au travers de ceux-ci, des catégories signifiantes pour parler de la nature en ville (trame verte, mais aussi plante, arbre ou square) ou du climat (climat mais aussi atmosphère, pollution ou îlots de chaleur). La pluridisciplinarité des recherches a permis de développer un vocabulaire commun aux équipes de sciences humaines et sociales (SHS), sciences des écosystèmes et de l'atmosphère et de comprendre les méthodologies de chacun et leurs limites. Elle a notamment contribué à la définition de méthodologies qui permettraient de confronter savoir et représentation du rôle des trames vertes sur le climat urbain et la pollution de l'air. Les équipes de sciences de l'atmosphère ont également étudié et proposé des méthodologies permettant d'améliorer la prise en compte des effets urbains, et notamment de la végétation urbaine, dans leurs modèles. Les travaux ont été confrontés avec des recherches similaires menées dans des grandes métropoles de l'hémisphère Nord, aux États-Unis notamment, cela lors de séminaires ouverts à des spécialistes des trames vertes et à des chercheurs étrangers participants aux *Long Term Ecological Research programs* (LTER) ou d'ateliers et visites à ces LTER étasuniens. Cette dynamique a été complétée par l'animation de séminaires scientifiques accueillant des spécialistes reconnus des questions abordées par CCTV2, ceci dans le but d'alimenter les discussions au sein du programme et de fédérer les publics intéressés par ces questions. Des échanges avec les sphères non académiques ont également pu se faire grâce à la participation à diverses manifestations et à l'organisation ou co organisation de diverses journées d'étude.

FIGURE CLÉ





Toits verts, Vancouver.
© NNECAPA Photo Library / Flickr.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Boudes, Ph., 2012, **L'impact des trames vertes et de la végétalisation des villes sur l'adaptation des systèmes urbains aux changements climatiques. Une analyse de la littérature scientifique**, *Climatologie*, numéro spécial : Climats et changement climatique dans les villes, du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation, p. 65-82.

Cet article présente une part des travaux de CCTV1 et introduit aux thématiques de CCTV2. En effet, l'auteur établit d'abord que la relation climat-végétation en ville est un enjeu contemporain, de plus en plus abordé, quoique de manière partielle et éclatée, dans la littérature scientifique ; il détaille l'impact de la végétation sur les villes du point de vue climatique ; et ce faisant il rappelle la nécessité de fédérer des recherches intégrées sur ces thèmes. Rappelant aussi que l'auteur est un chercheur en SHS, cet article en appelle à des croisements entre disciplines.

Boudes, Ph. et Colombert M. (eds.), 2012, **Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires**, Éditions Vertig'O, 238 p. (également disponible en ligne, www.vertigo.com).

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

CCTV2 faisait collaborer physiciens de l'atmosphère, écologues des écosystèmes, géographes, économistes et ethnologues. Un des objectifs de ce programme était de chercher à poser les bases de notre interdisciplinarité à partir de questionnements communs et d'essayer de chercher à comprendre comment les différents chercheurs pouvaient répondre à ces questions et comment les réponses s'articulaient / se répondaient entre elles. Dans ce programme, des physiciens-chimistes de l'atmosphère ont développé des outils numériques pour étudier comment la végétation interagissait d'un point de vue physico-chimique avec l'atmosphère, et pouvait éventuellement permettre une adaptation au changement climatique (notamment réduction de l'îlot de chaleur urbain) ; des écologues ont travaillé sur les dynamiques du carbone et de l'azote à l'interface sol-plante-atmosphère et ont mis en avant des perspectives pour l'étude des liens entre végétation et adaptation au changement climatique ; les chercheurs en SHS, eux, se sont intéressés aux liens perçus entre végétation et climat par différents types d'acteurs (usagers et gestionnaires principalement) et aux vertus d'adaptation prêtées à la végétation en ville et à la façon dont ces liens, perçus comme des enjeux environnementaux, sont traduits ou non dans les pratiques individuelles, collectives ou la gestion officielle de la nature en ville.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Collaborations avec des chercheurs américains du Réseau *Urban Sustainability* RCN-SEES (financé par la *National Science Foundation* aux États-Unis) et notamment avec les LTER (*Long-Term Ecological Research*) Baltimore et Coweeta.

Projet ANR **PIAF** (Programme interdisciplinaire sur les indicateurs autochtones de la flore et de la faune). 2014-2017 - Porteur A.Sourdril, LADYSS.

Colombert, M. et Boudes Ph., 2012, **Adaptation aux changements climatiques et trames vertes urbaines. Propos introductifs**, in Ph.Boudes et M. Colombert (dir.), *Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires*, Éditions Vertig'O, pp. 13-28.

Cet ouvrage et cette introduction rassemblent et présentent des contributions d'auteurs reconnus en sciences de l'atmosphère, sciences des écosystèmes et SHS. Ils rappellent les liens existants entre l'atmosphère urbaine et la végétation des villes, la complexité de ces phénomènes et la nécessité de faire collaborer les disciplines ensemble sur ces questions. Cet ouvrage est un point de référence dans la reconnaissance d'un champ de recherche mobilisateur.

Boudes, Ph., 2012, **Le sociologue, le climat, les trames vertes et la ville : croisements complexes et féconds** in Ph. Boudes et M. Colombert (dir.), *Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires*, Éditions Vertig'O, pp. 95-117.

Cet article introduit, d'une part, à des perspectives sociologiques mobilisées par CCTV1 et 2, et, d'autre part, montre comment des travaux en sciences humaines et sociales peuvent embrasser des résultats présentés par d'autres sciences (ici, notamment sur l'impact de la végétalisation des villes sur le climat). Est également rappelé comment ont été différenciées les dimensions normatives, conceptuelles et ontologiques dans le champ de recherche de CCTV.

Rankovic, A., Ch. Pacteau et L. Abbadie, 2012, **Services écosystémiques et adaptation urbaine interscalaire au changement climatique : un essai d'articulation**, in Ph. Boudes et M. Colombert (dir.), *Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires*, Éditions Vertig'O.

Cet article envisage une approche des liens entre végétation et climat urbain en termes de services écosystémiques et d'adaptation aux changements climatiques. Les auteurs évaluent notamment le recours aux services écosystémiques comme stratégie urbaine d'adaptation au changement climatique, et proposent une revue des services écosystémiques en lien avec l'adaptation urbaine. Cet article s'inscrit ainsi dans l'ambition du programme CCTV2 de rattacher son approche à une lecture en termes de services écosystémiques, comment indiqué dans la présentation des résultats du projet.

Blanc, N., Arrif T., Boudes Ph. & Cormier L., **Transversalité utopique entre aménagement de la ville et conception écologique des trames vertes** in N. Blanc et Ph. Clergeau, *Trames Vertes Urbaines*, Éditions du Moniteur, 8p.

La réflexion sur les trames vertes est récurrente dans CCTV. Bien que les chercheurs parlent désormais de végétation et de sol, ou plus généralement du « greening of cities », la réflexion sur les trames vertes est nécessaire car elles font parties des orientations politiques actuelles, au niveau urbain et au niveau régional avec les schémas régionaux de cohérence écologique. L'article contribue ainsi à clarifier l'approche actuelle du végétal et des trames vertes, tout en se tournant ouvertement vers le dialogue avec les politiques.

CLIMVIB

Climat et dynamique des *Vibrio* pathogènes humains dans les systèmes marins côtiers français

| | |
|-------------------------------|--|
| Porteurs | Sylvie Joussaume, LSCE |
| Contact | sylvie.joussaume@lsce.ipsl.fr |
| Période | juin 2011 – mars 2014 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | LSCE |
| Labo. Hors GIS : | Laboratoire Ecologie des systèmes marins côtiers (ECOSYM), HydroSciences Montpellier Laboratoire Maladies infectieuses et vecteurs : écologie, génétique, évolution et contrôle (MIVEGEC) École Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT) Centre de formation et de recherche sur les environnements méditerranéens (CEFREM) Institut des sciences de l'évolution de Montpellier (ISEM) Laboratoire santé, environnement et microbiologie (IFREMER) Centre national d'études spatiales (CNES). |

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/climvib>

- un potentiel de modélisation avec différentes approches suivant l'échelle spatiale considérée ;
- la prise en compte de la difficulté de coupler des approches spatiales et temporelles dont les échelles sont très différentes entre les observations (biologiques) des *Vibrio*, et les observations des paramètres (physiques) environnementaux.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Le projet CLIMVIB a permis la collaboration entre des climatologues, des microbiologistes, des épidémiologistes et des spécialistes de la télédétection.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Étude financée par l'Observatoire Homme Milieux Littoral Méditerranéen **DynVibGAM** (Approche pour une modélisation de la dynamique des *Vibrio* pathogènes humains dans les lagunes et les eaux côtières du Golfe d'Aigues Mortes et pour une analyse économique et une prospective des conséquences de leur émergence).

2013-2014 - Coordinateur : Estelle Jumas-Bilak, ECOSYM.

Réseau européen **Vibrio Net Europe** pour l'étude des *Vibrio* avec pour objectif d'obtenir un financement d'envergure au niveau de l'Europe. En cours de construction

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Monfort P., Morand S., Lafaye M., 2014, **Risques microbiologiques côtiers et systèmes de surveillance**, chapitre d'ouvrage dans *Risques côtiers et adaptations des sociétés*, Collection Mer et Océan.

Monfort P., Morand S., Lafaye M. 2014, **Microbiological coastal risks and monitoring systems**, In *Vulnerability of coastal ecosystems and adaptation*, *Oceanography and marine biology series – Seas and oceans set*, A. Monaco et P. Prouzet, eds, ISTE Editions, London, and John Wiley & sons Editions, Hoboken. pp. 95-129. ISBN : 978-1-84821-704-1

Esteves K., et al., 2015a, **Rapid proliferation of *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* and *Vibrio cholerae* during freshwater flash floods in French Mediterranean coastal lagoons**, *Appl. Environ. Microb.* doi: 10.1128/AEM.01848-15

Esteves K., et al., 2015b, **Highly diverse recombining populations of *Vibrio cholerae* and *Vibrio parahaemolyticus* in French Mediterranean coastal lagoons**, *Front. Microbiol.* 6:708. doi: 10.3389/fmicb.2015.00708

OBJECTIFS

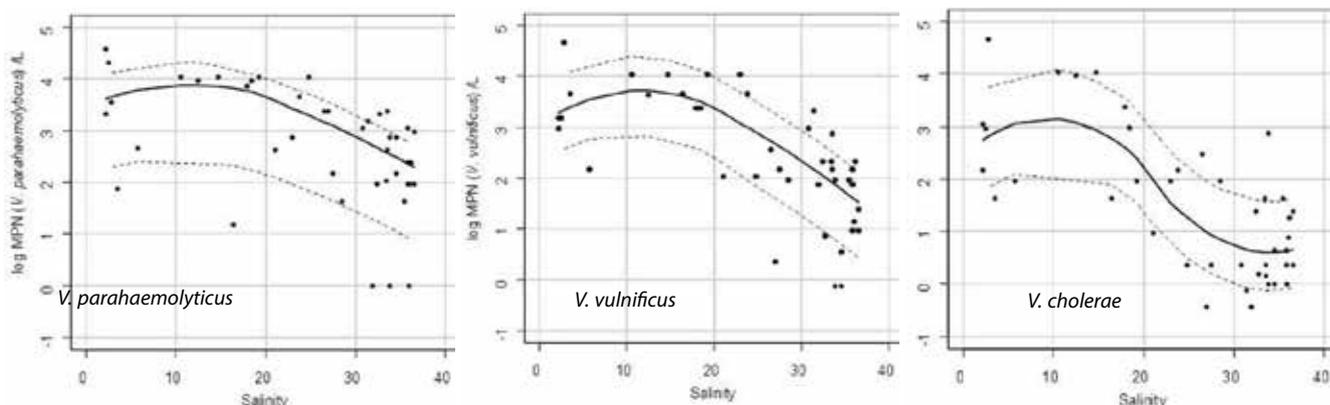
Le projet d'incubation CLIMVIB visait à étudier la possibilité de développer un modèle prédictif de la présence de *Vibrio* permettant l'aide à la décision face aux risques d'épidémie à *Vibrio*, et de simuler la dynamique de ces *Vibrio* sous contrainte du changement global.

RÉSULTATS MAJEURS

Plusieurs actions ont été menées, dont deux séminaires de travail, afin d'examiner l'état des connaissances des différents domaines scientifiques et les pistes possibles d'investigations communes, ainsi que des mesures dans les eaux des lagunes du Golfe d'Aigues-Mortes dans le but de mieux préciser les relations entre les trois *Vibrio* pathogènes humains (*V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* et *V. cholerae*), la température et la salinité. Cette étude a fait ressortir :

- le lien fort entre *Vibrio* et certaines conditions environnementales : température et salinité principalement ;
- l'impact potentiel du changement climatique, qui pourrait induire une augmentation de la concentration en *Vibrio* suite à l'augmentation des températures de surface de la mer (SST) mais également, en Méditerranée, suite à l'intensification des pluies événementielles responsables de dessalures brutales ;

FIGURE CLÉ



Concentrations de *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* et *V. cholerae* versus la salinité mesurée *in situ* au moment de l'échantillonnage. Source : projet CLIMVIB.

DECLIC

Étude des schémas économiques et des changements climatiques attendus pour plusieurs scénarios d'émission de gaz à effet de serre.

Porteurs

Laurent Bopp, LSCE
Jean-Charles Hourcade, CIRED

Contacts

laurent.bopp@lsce.ipsl.fr
hourcade@centre-cired.fr
brunelle@centre-cired.fr

Période

décembre 2008 - juillet 2012

Laboratoires impliqués

Labo GIS : LSCE, CIRED, LMD

Labo. Hors GIS : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)

Site internet

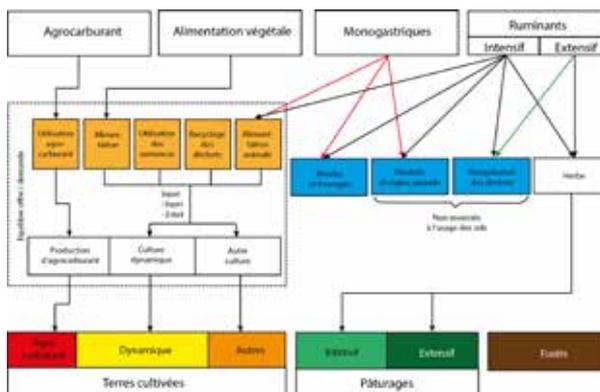
<http://www.gisclimat.fr/projet/declic>

Ce projet a bénéficié d'un financement de l'ADEME.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet GIS Climat **ACCACYA** (Attribution des causes anthropiques du changement climatique par le cycle du carbone).
2011-2013 - Porteurs : J.C. Hourcade et P.Ciais.

FIGURE CLÉ



Description du modèle Nexus Land-Use (NLU). Source : projet DECLIC.

OBJECTIFS

Ce projet, dont l'objectif à terme était d'obtenir un modèle intégré du système économie – climat – cycles, visait aussi à répondre aux trois questions suivantes :

1. Pour divers niveaux de stabilisation des concentrations en gaz à effet de serre, quel sera le rythme du changement climatique, son niveau à l'horizon de la stabilisation (2100 ou au-delà) et sur le très long terme ?
 2. Pour chaque scénario de stabilisation, quelles seront les émissions compatibles de CO₂ à échéance 2100 et quelle est la plausibilité économique de ces scénarios ?
 3. Quelles stratégies d'atténuation devraient être mises en œuvre pour atteindre les émissions associées aux différents scénarios ?
- Plusieurs étapes de ce projet visaient à contribuer au cinquième rapport des groupes I et 3 du GIEC.

RÉSULTATS MAJEURS

Pour la première fois en France, un modèle climat-cycle du carbone du système Terre (IPSL-CM5A) a été couplé à un modèle général d'équilibre économique (IMACLIM-R) et de nouveaux outils de modélisation, comme le modèle NEXUS, qui représente de façon explicite les dynamiques biophysiques et économiques de l'usage des sols, ont pu être développés. Des simulations couplées économie-carbone-climat sur la période 2000-2100, dans lesquelles les émissions de combustibles fossiles compatibles calculées par le modèle système Terre pour un scénario spécifique de concentration de CO₂ sont utilisées par le modèle économique pour proposer des stratégies cohérentes d'atténuation, ont été réalisées. Les travaux montrent que de petits écarts dans les émissions peuvent avoir de larges conséquences d'un point de vue économique (perte de PIB). Enfin, DECLIC a permis de montrer, grâce à des simulations couplées climat-agriculture-économie sur la période 2000-2050, que le climat et la fertilisation par le CO₂ affectent les rendements des cultures et la rente foncière. Il a été démontré que l'augmentation de la concentration de CO₂ et son impact sur le climat pourraient conduire à une délocalisation de la production agricole des régions du Sud (Afrique, Brésil et le reste de l'Amérique Latine) vers celles du Nord, particulièrement le Canada, les Etats Unis et l'ex URSS.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce projet visait, d'une part, à construire un modèle d'usage des sols destiné à faire l'interface entre les modèles de climat et d'économie et, d'autre part, à tester, avec un modèle d'économie, l'effet d'un raffinement de la modélisation du cycle du carbone.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Souty, F., Brunelle, T., Dumas, P., Dorin, B., Ciais, P., Crassous, R., Müller, C., Bondeau, A., 2012, **The Nexus Land-Use model version 1.0, an approach articulating biophysical potentials and economic dynamics to model competition for land-use**, *Geosci. Model Dev.*, 5, 1297-1322, doi:10.5194/gmd-5-1297-2012.

Cet article décrit le modèle Nexus Land-Use et présente des exemples de réalisations.

Dufresne J-L. et al., **Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model : from CMIP3 to CMIP5**, *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/S00382-012-1636-1.

Dans cette publication sont présentés les résultats concernant les émissions compatibles pour les différents scénarios RCPs calculées avec le modèle IPSL-CM5A-LR. La comparaison aux émissions produites par les IAMs est aussi discutée.

Guivarch et coll., 2011, **The costs of climate policies in a second best world with labour market imperfections**, *Climate Policy*, 11(1) : 768-788.

This article explores the critical role of labour market imperfections in climate stabilization cost formation, using a dynamic recursive energy—economy model that represents a second-best world with market imperfections and short-run adjustment constraints along a long-term growth path.

Sassi et coll., 2010, **IMACLIM-R: a modelling framework to simulate sustainable development pathways**, *International Journal of Global Environmental Issues*, 0 1/2.

Cet article décrit le cadre d'analyse du modèle économie-énergie-climat IMACLIM-R.

Rozenberg et coll., 2010, **Climate policies as a hedge against the uncertainty on future oil supply**, *Climatic Change*, 101(3).

This paper demonstrates that climate policies can be considered as a hedge against the potential negative impact of oil scarcity on the world economy.

Mathy, S. et Guivarch, C., 2010, **Climate policies in a second-best world - A case study on India**, *Energy Policy*, 38(3).

The aim of this article is to analyze the potential for synergies between climate policies and development in a case study on India focusing on the power sector sub-optimality.

Jones, C. et al., 2013, **Twenty-First-Century Compatible CO₂ Emissions and Airborne Fraction Simulated by CMIP5 Earth System Models under Four Representative Concentration Pathways**, *J. Climate*, 26, 4398-4413. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00554.1>

Dans cette publication est présentée l'intercomparaison des émissions compatibles produites par 14 ESMs et pour les 4 RCPs.

ENVIGLOB

Mise en débat de l'environnement global : controverses et images

| | |
|-------------------------------|---|
| Porteurs | Christophe Bonneuil, Centre Alexandre Koyré |
| Contacts | bonneuil@damesme.cnrs.fr |
| Période | décembre 2011 - décembre 2013 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | Centre Alexandre Koyré, LSCE |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/enviglob |

OBJECTIFS

Le projet proposait d'interroger la mise en débat de « l'environnement global », notamment du changement climatique à travers deux volets :
- Un volet « discours et controverses » (axe 1)
- Un volet « images et représentations » (axe 2) centré sur le rôle des images dans la constitution de l'environnement, et notamment du changement climatique, comme problème public planétaire et dans les dynamiques politiques.

RÉSULTATS MAJEURS

Axe 1 : En France, comparée à d'autres controverses sociotechniques, la contestation sur la question du changement climatique est à fronts renversés : aucune force politique ni sociale ne conteste l'expertise du GIEC. L'analyse de cette « spécificité française » permet de la relier à trois éléments : une structuration particulière de l'espace social français autour de la question climatique au début des années 1990 ; un mouvement intellectuel et politique contre l'écologie politique et, enfin, la réticence de certaines disciplines (géographes, démographes, sciences de la Terre) face à la construction du changement climatique comme problème environnemental prioritaire.

Axe 2 : D'abord il y a la question de la « mise en image » : choisir et trouver des modes de représentations adéquats est une entreprise difficile et ne garantit nullement une sensibilisation efficace du public. Puis, la dimension politique : les images environnementales globales sont toutes construites au carrefour entre pouvoir institutionnel, contraintes techniques et matérielles et, enfin, dynamiques sociales, politiques et culturelles au sein des différents disciplines scientifiques impliquées. Enfin, la dimension technique et les enjeux de pouvoir : la vue désincarnée et lourdement abstraite des images environnementales globales peut amener, par exemple, à une certaine banalisation de l'horreur et même entraîner un effet démobilisateur.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Le projet s'est construit au carrefour des SHS (sciences humaines et sociales) et des sciences dites « dures ». Des climatologues et des géographes, notamment, ont été conduits à mener, ensemble avec les collègues des SHS, des réflexions sur des problématiques communes ainsi que des terrains d'enquête communs qui peuvent nourrir les débats dans le futur (surtout en ce qui concerne les images environnementales globales qui sont déjà l'objet d'un projet de recherche CNRS de S. Grevsmühl).

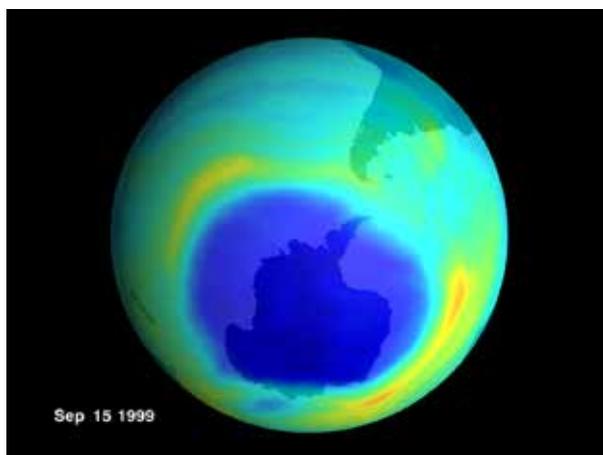
PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Christophe Bonneuil dirige depuis octobre 2013, aux Éditions du Seuil, une nouvelle collection intitulée *Anthropocène. Interdisciplinaire*. Cette collection se fait aussi bien l'écho des dernières avancées des sciences du système Terre que des humanités environnementales. Les premiers livres qui sont sortis dans cette collection font écho aux recherches menées dans le cadre du projet ENVIGLOB, notamment le livre *La Terre*

vue d'en haut : l'invention de l'environnement global de S. Grevsmühl, paru en 2014.

En termes de collaboration, le projet a permis de nouer des contacts et de renforcer des contacts existants autour des thématiques des axes 1 et 2. Ceci concerne aussi bien les collaborations internationales que la consolidation de dynamiques de recherche avec des collègues français. Ainsi, le travail de l'axe 1 a permis de continuer une coopération entre S. Aykut, H Guillemot et JB. Comby autour du thème de la médiatisation du changement climatique et de la visibilité des controverses. Les résultats de l'axe 2 ont mené à la formulation d'un nouveau projet de recherche CNRS, porté par S. Grevsmühl.

FIGURE CLÉ



Les visualisations du « trou » de la couche d'ozone au dessus de l'Antarctique (ici de 1999) illustrent bien l'idée de l'« environnement global » : nos actions locales peuvent désormais avoir des conséquences globales désastreuses, même à l'autre bout de la planète.
© SVS, Goddard Space Flight Center, NASA.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Comby, JB., Romanet V., **Un problème réchauffé ? Les changements climatiques dans les médias généralistes 2007-2011**, Rapport de recherche, Institut Français de Presse de l'Université Paris 2 & GIS Climat-Environnement-Société, Paris, 2012.

Le point d'interrogation du titre de ce rapport n'est pas innocent. Pour beaucoup, les changements climatiques constituent un problème réchauffé, passé de mode, qui n'intéresse plus grand monde. Pourtant, à rebours de cette interprétation du sens commun, l'examen scientifique de la médiatisation de la question du climat montre que c'est précisément parce qu'elle est parvenue à intéresser les décideurs situés au sommet de l'État que cette question a, en tant que telle, vu sa visibilité médiatique décliner depuis 2007.

Aykut S., **Actes de la conférence internationale « Challenging the 'climate consensus': Perspectives from the social sciences and humanities to analyze 'dissonant voices' in the public debate on climate change »**, GIS Climat-Environnement-Société, Paris, 2015.

Les participants de la conférence ont tenté de comprendre pourquoi le déni du changement climatique, que ce soit au niveau individuel ou collectif, s'est formé et a acquis une visibilité médiatique. De manière complémentaire, ils ont exploré les mécanismes d'une présentation plus consensuelle du sujet dans certains pays et certains types de médias. Les différentes études de la journée ont surtout montré qu'afin de comprendre déni et scepticisme dans le débat climatique, il faut résister à la polarisation qui domine le débat public.

Grevsmühl, S., **Images environnementales globales : nouvelles perspectives**, Actes de la conférence internationale des 9 et 10 octobre 2014, GIS Climat-Environnement-Société, Paris, 2015.

Lors de la conférence se sont réunis des physiciens, des géographes, des historiens, des chercheurs du CNRS, à côté de sociologues, de philosophes, d'historiens de l'art, de politistes, mais aussi d'ingénieurs et de gestionnaires. Un des enjeux était de commencer à réfléchir sur la mise en place d'un programme de recherche sur les images environnementales globales qui embrasserait autant de compétences diversifiées. La conférence a ainsi permis d'établir un vrai dialogue interdisciplinaire et d'ouvrir de nouvelles pistes de réflexion.

EPIC3

Chimie de l'atmosphère et changement climatique : aspects scientifiques, épistémologiques et politiques. Étude des projets de géo-ingénierie.

Porteurs Sophie Godin Beekmann, LATMOS
Contacts sophie.godin-beekmann@latmos.ipsl.fr
regisbriday@yahoo.fr
Période janvier 2009 - janvier 2012
Thèse Une histoire de la chimie atmosphérique globale. Enjeux disciplinaires et d'expertise de la couche d'ozone et du changement climatique. Régis Briday (LATMOS) Thèse soutenue le 8 décembre 2014.

Laboratoires impliqués

Labo GIS : Centre Alexandre Koyré, LATMOS

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/epic3>

OBJECTIFS

La chimie tient une place de plus en plus importante dans les modèles atmosphériques auxquels elle est couplée, y compris dans les modèles globaux et le débat autour des propositions de lutte contre la pollution atmosphérique et le réchauffement climatique, auquel elle prend part, divise. Ce projet visait à rendre compte des dimensions aussi bien techniques et épistémologiques de la production des résultats scientifiques, que des aspects sociologiques (diversité des experts, rôle de l'espace public) et politiques (politique de la recherche, liens à la décision).

RÉSULTATS MAJEURS

La première partie de la thèse met au centre du jeu une « culture matérielle » : les mesures spectroscopiques. L'auteur montre qu'elles ont bouleversé, à la fois la tradition de mesure des composés atmosphériques, dont l'ozone, et ont fait office de « zone d'échange » entre plusieurs pratiques scientifiques, pour générer la première théorie photochimique de l'ozone stratosphérique (par Sydney Chapman, au tournant des années 1930). Puis, est décrit le rôle joué par les spécialistes de la stratosphère des premières décennies de la Guerre froide dans la construction d'un « environnement physique » global – ou, devrait-on dire, au sein d'un « environnement physico-chimique global ».

Dans la seconde partie, par le biais d'une étude de controverses, l'auteur décrit les tensions qui marquent le passage d'un « régime de production des connaissances » à un autre, dans les années 1970. Peu étudiée par les STS, l'entrée de la question de la destruction de la couche d'ozone dans les arènes politiques, médiatiques et réglementaires aux États-Unis engendre de multiples polémiques entre scientifiques, ainsi qu'entre scientifiques de l'atmosphère, qui découvrent, pour la plupart, le métier d'expert, et industriels, décideurs politiques et citoyens qu'il faut convaincre. Le « tournant environnementaliste » des années 1970 est une notion éminemment polysémique. Dans la présente étude, elle recouvre une palette de réalités, à la fois contrastées, mais aussi qui s'interpénètrent en partie : la critique « altermondialiste » de Richard Scorer ; la quête d'un nouveau programme de recherche à la NASA ; les mises en garde de Bert Bolin à la tribune de l'UNCHE... etc.

Dans la troisième partie, l'historien montre le passage d'un contexte de production d'expertises nationales à un contexte de production d'une expertise internationale sur la destruction anthropique de la couche d'ozone d'une part, et sur le changement climatique, d'autre part. Cette transition se fait sous égide de l'ONU, mais l'impulsion de grandes institutions de recherche états-uniennes est décisive. Le processus d'internationalisation accélérée de l'expertise sur l'ozone et le climat ne répond pas uniquement à la nécessité de multiplier les mesures à travers

le monde afin de générer une science plus « robuste ». La production d'un document unique faisant autorité dans la communauté scientifique et la cooptation de scientifiques en provenance d'un nombre maximal de pays doit faciliter la mise en œuvre de politiques de limitation des ODS (substances destructrices d'ozone) et des GES (gaz à effet de serre) à l'échelle internationale (de préférence, de manière coordonnée). Le nouveau type d'expertise sur les pollutions atmosphériques globales qui naît dans les années 1980 se caractérise également par l'utilisation de « modèles intégrés » devant « construire des futurs » possibles afin de guider l'action politique et par l'invention d'indices environnementaux qui doivent servir « d'objets frontières » entre pouvoirs publics et industriels, et entre les différents États.

En outre, la signature du Protocole de Montréal en 1987 et la remise du Prix Nobel de Chimie à Paul Crutzen, Mario Molina et Sherwood Rowland en 1995 consacrent la science de l'ozone et assoient la légitimité de la chimie atmosphérique au sein de la communauté scientifique (alors que les chimistes de l'atmosphère étaient auparavant fréquemment décriés, par des météorologistes en particulier). De plus, les *Assessments of Ozone Depletion* et les rapports du GIEC ont acquis une autorité peu contestée, que ce soit au sein de la communauté scientifique ou dans les arènes de négociations internationales, dans les médias, dans les collectifs de défense de l'environnement. En 2007, un Prix Nobel de la paix est même attribué au GIEC « en reconnaissance de son action menée pour rassembler et diffuser les connaissances sur les changements climatiques anthropiques et jeter ainsi les bases des politiques à mettre en œuvre pour en contrer les effets ». A la faveur de la reconnaissance publique de l'expertise internationale sur la destruction de la couche d'ozone et sur le changement climatique, les chimistes de l'atmosphère globale qui y collaborent accèdent à un statut supérieur.

« A nouveau, la nature et les répercussions des prises de parole des acteurs évoluent et, avec elles, le corpus et la manière de traiter les discours des acteurs », écrit R. Briday. Il faut désormais comprendre dans quelle rhétorique, dans quel projet politique s'insère la très renommée Susan Solomon, lorsqu'elle signe un article *Atmospheric Composition, Irreversible Climate Change, and Mitigation Policy* dans un ouvrage collectif publié sous le titre *Climate Science for Serving Society. Research, Modeling and Prediction Priorities* (Solomon et al., 2013). Il faut expliquer la démarche de Michael McElroy au sein du *Harvard China Project*, « un programme de recherche interdisciplinaire » et « en collaboration avec des instituts de recherche chinois », portant sur « l'environnement atmosphérique de la Chine, son système énergétique et son économie ». Il faut apprécier les discours de Ralph Cicerone sur la géoingénierie à l'aune de son statut de Président de l'Académie des sciences des États-Unis. Il faut étudier les discours et les profils des contributeurs des ouvrages trans-/interdisciplinaires sur « la durabilité globale », que coédite, depuis une quinzaine d'années, le climatologue Hans Schellnhuber. Ce corpus offre des perspectives de recherche multiples, notamment au sujet des usages que les scientifiques font des concepts « d'Anthropocène », de « Seconde révolution copernicienne » et de « durabilité globale », de Gaia, etc.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce travail est le fruit d'une collaboration directe entre historiens des sciences du Centre Alexandre Koyré et scientifiques de l'atmosphère franciliens, comme en témoigne la co-direction de la thèse de Régis Briday (Co-dir. : S. Godin-Beekmann du LATMOS et A. Dahan du Centre A. Koyré).

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Une histoire de la chimie atmosphérique globale. Enjeux disciplinaires et d'expertise de la couche d'ozone et du changement climatique.

Thèse soutenue par Régis Briday en 2014.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01213826>

EREBUS

Évaluation des risques et bénéfices de l'exposition aux rayonnements ultra-violet

| | |
|-------------------------------|--|
| Porteur | Sophie Godin-Beekmann, LATMOS |
| Contacts | sophie.godin-beekmann@latmos.ipsl.fr |
| Période | décembre 2011 - décembre 2013 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS: | IPSL, LATMOS |
| Labo hors GIS: | Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA) Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E) |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/erebus |

OBJECTIFS

Dans la continuité des projets RISC UV et EXPO UV, EREBUS avait pour objectif d'évaluer les risques et bénéfices de l'exposition au rayonnement ultraviolet (UV) en région tempérée (France). Motivé par la nécessité de disposer de données fiables pour les études épidémiologiques et de clarifier les messages de prévention, il était fondé sur l'évaluation et l'élaboration de climatologies de dose érythémateuse et de dose nécessaire à la synthèse de la vitamine D, l'étude des effets de la nébulosité sur les doses UV et la répartition spectrale du rayonnement UV à partir de mesures sol en France et la simulation des doses UV passées et futures par un modèle de climat.

RÉSULTATS MAJEURS

Du point de vue des effets bénéfiques du rayonnement UV, un certain nombre d'études indiquent qu'en automne et en hiver, la durée d'exposition nécessaire pour synthétiser 1000 unités de vitamine D en Europe tempérée est généralement plus long que la durée suffisante pour provoquer un érythème. Les mesures de rayonnement UV effectuées dans le cadre du projet RISC-UV nous ont permis de confirmer ces résultats en région parisienne. Afin d'évaluer comment ces deux durées évolueront en Europe en fonction du changement climatique, des simulations des doses érythémateuses et des doses de synthèse de vitamine D ont été effectuées à partir d'un modèle radiatif et des résultats des simulations par le modèle IPSL-CM5 ESM des paramètres contrôlant le rayonnement UV de ciel clair (principalement les contenus intégrés d'ozone et d'aérosols). Ces simulations ont utilisé à la fois les mesures réglementaires du Protocole de Montréal quant à la réduction d'émission des constituants appauvrissant la couche d'ozone et les différents scénarios

de changement climatique. Les résultats montrent que la reconstitution de la couche d'ozone prévue dans le courant du 21ème siècle, aura pour effet de réduire le rayonnement UV à la surface de façon plus ou moins importante suivant les scénarios climatiques. Dans le cas des aérosols par contre, la diminution de leur concentration atmosphérique induite par la réglementation des futures émissions de particules liées aux activités humaines aura pour effet d'augmenter le rayonnement UV. Les résultats des simulations montrent alors des résultats contrastés entre la synthèse de vitamine D et l'apparition d'érythèmes. Dans le premier cas, la synthèse de vitamine D étant principalement contrôlée par le contenu d'ozone, la durée d'exposition nécessaire pour synthétiser la vitamine D augmente pour tous les scénarios de changement climatique. L'effet de la récupération de la couche d'ozone est également observé dans le cas de l'apparition d'érythème mais les doses érythémateuses étant plus sensibles à l'effet des aérosols, les simulations montrent, pour le scénario de faible changement climatique uniquement, une diminution de la durée d'exposition nécessaire à l'apparition d'un érythème en été (Correa et al., 2013)..

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

EREBUS a permis la collaboration entre physiciens de l'atmosphère, médecins dermatologues et épidémiologistes.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Correa, M.P. et al., 2013, **Projections for erythema and vitamin D effective UV doses with respect to the future changes in the total ozone content and aerosol optical properties**, *Photochemical & Photobiological Sciences*, 12, 1053-1064, DOI: 10.1039/C3PP50024A

Maleissye, M.F. et al., 2012, **Sunscreen use and melanocytic nevus in children: a systematic review**, *Pediatric Dermatology*, 6, 2012.

Mahé, E., et al., 2012, **Evaluation of tourists UV exposure in Paris**, *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, v. 26, 2012.

Mahé, E., et al., 2011, **Outdoor sports and risk of UV-related skin lesions in children: evaluation of risks, and prevention**, *British Journal of Dermatology*, 165, p. 360-367.

Jégou, F., et al., 2011, **Validity of satellite measurements used for the monitoring of UV radiation risk on health**, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, p. 13377-13394.

Correa, M. P., et al., 2010, **Comparison between UV index measurements performed by research-grade and consumer-products instruments**, *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9, p. 459-463.

Porteur Jacques Quensière, CEMOTEV en 2010
Contacts jacques.quensiere@ird.fr
Période juin 2010-décembre 2010
Laboratoires impliqués
 Labo GIS : iEES, LADYSS, LSCE
 Labo hors GIS : Ecosystèmes Marins Exploités (EME)
 Centre d'Etudes Politiques de l'Europe Latine (CEPEL)
 Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN)
 Laboratoire de Géographie Physique (LGP)
Site internet
<http://www.gisclimat.fr/projet/eric>

OBJECTIFS

Le GIS Climat a financé la phase d'incubation (sous forme d'un atelier) du projet ERIC dont l'objet était de conduire simultanément une double analyse : (i) préciser la nature des risques climatiques auxquels font face les zones côtières ouest africaines et (ii) analyser comment la mise en œuvre d'un observatoire pourrait réduire la vulnérabilité de ces zones. Le domaine spatial portait essentiellement sur la Petite Côte du Sénégal, dans la région de M'Bour.

RÉSULTATS MAJEURS

L'atelier ERIC s'est tenu du 27 au 29 octobre 2010 à Dakar et a montré l'intérêt de la mise en place d'un observatoire intitulé « Observatoire des vulnérabilités et potentialités environnementales et sociales de la Petite Côte sénégalaise et du Delta du Saloum ».

Au cours des débats, l'accent a porté sur la vulnérabilité, mais aussi sur les potentialités environnementale et sociale des systèmes côtiers en relation avec les risques liés aux changements climatiques. Cinq domaines sont apparus pouvant être porteurs d'enjeux de développement durable : le littoral, l'eau, les paysages,

l'urbanisation et les pêches. Les renseignements à collecter sur ces domaines étaient des données nécessaires à la recherche, mais aussi des informations utiles à la concertation et au débat social.

Grâce à la participation de différents représentants des acteurs locaux du développement, une première liste de ces données et informations a été établie permettant de mieux cerner les problèmes scientifiques et sociétaux posés par la non durabilité actuelle des systèmes littoraux et côtiers. Des méthodes et modes de gouvernance de l'observatoire et de ses liens avec la société civile ont également été précisés.

FIGURE CLÉ



DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce projet a réuni des chercheurs de différents domaines : climat, écologie, sciences humaines, mathématiques, et des acteurs de la société.



HUMBOLDT

Les impacts de l'homme sur la biodiversité et le climat au cours de l'Anthropocène

| | |
|-------------------------------|---|
| Porteur | Paul Leadley, ESE |
| Contacts | paul.leadley@u-psud.fr |
| Période | septembre 2009 - décembre 2013 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | iEES, ESE, LMD, LOCEAN, LSCE |
| Labo hors GIS : | Laboratoire de physique des océans (LPO) Centre de recherche halieutique méditerranéenne et tropicale (CRH) Université de Perpignan Laboratoire d'écologie alpine (LECA) Conservation des espèces, restauration et suivi des populations (CERSP) Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul (CERFACS) |
| Site internet | http://www.gisclimat.fr/projet/humboldt |

OBJECTIFS

Le projet HUMBOLDT proposait d'étudier les interactions climat-écosystèmes en s'appuyant sur des programmes et des réseaux de recherche aux niveaux national et international. Les travaux se sont axés sur la descente d'échelle dans le but de modéliser les impacts sur les écosystèmes ainsi que sur le développement et l'utilisation de modèles dynamiques couplés régionaux pour étudier les rétroactions entre l'occupation des sols et le climat régional. Les objectifs de la mise en place de réseaux étaient i) d'améliorer la prise en compte de la biodiversité dans les modèles et ii) de renforcer le dialogue entre climatologues et écologues travaillant sur des modèles d'impacts du changement climatique sur les écosystèmes et les espèces.

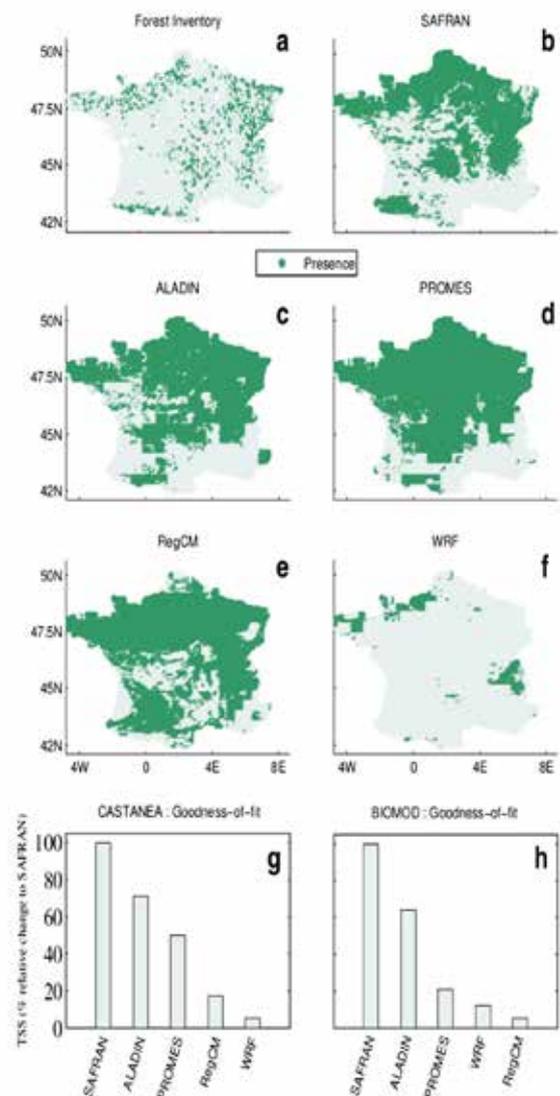
RÉSULTATS MAJEURS

Le projet HUMBOLDT avait plusieurs objectifs dont :

- Créer un lien entre les scénarios climatiques et les études d'impact sur les écosystèmes terrestres en s'attachant, plus particulièrement, à l'évaluation des méthodes de descente d'échelles utilisées pour les études d'impacts climatiques sur les écosystèmes. (Ruffault et al. 2013, Stéphanon et al. 2015, ClimEcol workshop 2013). Ce travail a mis en avant les avantages (amélioration des prévisions de la distribution des espèces) et les inconvénients (complexité accrue et sources d'incertitude) de l'utilisation de modèles climatiques régionaux pour la descente d'échelle. Ce travail a également fait ressortir le besoin de renforcer le dialogue entre climatologues et écologues afin de tirer parti des ressources considérables liées à la descente d'échelle régionale.
- La modélisation couplée dynamique RES : ce projet s'est également focalisé sur le développement et l'utilisation de modèles RES (Regional Earth System) qui permettent de coupler des modèles de climat, d'occupation des sols, d'usage des sols et de biodiversité (Stéphanon et al. 2014). Des travaux préliminaires ont démontré les effets importants, sur le climat régional, des modifications à grande échelle de l'occupation des sols. Les travaux sont toujours en cours dans le cadre du LabEx BASC qui se concentre sur l'évaluation de l'importance des espèces d'arbres sur les rétroactions écosystèmes-climat régional.
- Mise en place de réseaux internationaux sur la recherche climat-biodiversité. Le GIS Climat a participé au financement et à l'organisation

de plusieurs ateliers internationaux dont les *International Biome Boundary Shift workshops* (sur le lien entre observations et modèles des changements majeurs de la végétation mondiale, en partenariat avec DIVERSITAS) et les *International EcoEvol workshops* (axés sur le paramétrage et la validation d'un modèle, à l'échelle régionale, d'évolution rapide des espèces, en partenariat avec DIVERSITAS) ainsi que d'une base de donnée mondiale sur les caractéristiques des plantes (TRY, regroupant de nombreux partenaires dont le Max Plank Institute, IGBP et DIVERSITAS, Kattge et al. 2011).

FIGURE CLÉ



Répartition du hêtre en Europe :

Observations (a) et modélisation avec le modèle d'arbres CASTANEA utilisant des variables atmosphériques issues de SAFRAN (b) et de quatre modèles de climat régionaux : ALADIN (c), PROMES (d), RegCM (e) et WRF (f).

Le graphique (g) présente l'ajustement moyen (utilisation de la méthode TSS) réalisé avec des simulations CASTANEA sur la France (en pourcentage par rapport à la TSS obtenue avec SAFRAN).

Le graphique (h) présente la TSS moyenne obtenue avec des simulations sur la France d'un second modèle d'arbres, BIOMOD (en pourcentage par rapport à la TSS obtenue avec SAFRAN).

L'ensemble des modèles présentait plutôt une bonne corrélation avec les données climatiques, mais trois d'entre eux comportaient des biais qui empêchaient leur utilisation sans correction. Le modèle WRF, même s'il présente des résultats faibles dans ce test du fait d'un biais important lié aux fortes précipitations, était le plus simple à corriger puisque le biais était constant dans l'espace. D'après Stefanon et al (2015).

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce projet a permis de réunir des climatologues et des écologues. La collaboration s'est construite à travers divers projets axés sur les interactions climat-écosystèmes (descentes d'échelle pour des études d'impact, couplage de modèles climat et écosystèmes) et des réunions locales et nationales portant sur les interactions climat-écosystèmes (par exemple, réunion nationale ClimEcol en 2013). Une interaction avec le projet GIS Climat RAMONS a permis de recadrer et co-construire des objectifs de recherche au cours du projet Humboldt.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Labex BASC (Biodiversity, Agroecosystems, Society, Climate). 2013-2019

Le projet HUMBOLDT a joué un rôle clé dans le développement de recherches interdisciplinaires et de réseaux qui ont permis la mise en place du Labex BASC. Ce projet, avec un budget de 5 M€, regroupe de nombreuses disciplines autour des impacts, de l'adaptation et du développement durable dans un contexte de changement global. Deux des cinq projets phares de BASC sont issus des recherches engagées au sein du GIS Climat, tout particulièrement des collaborations mises en place entre les projets HUMBOLDT et MORCE-MED.

Projet FRB **MOBILIS** (Développer des modèles pour la gestion durable de la biodiversité, de l'agriculture et des forêts face au changement climatique).

2011-2014 - Porteur : Luc Doyen.

Ce projet est maintenant terminé mais l'équipe est à la recherche d'un nouveau financement.

Collaborations avec l'INRA Nancy, l'université de Bordeaux et le CEFV de Montpellier sur la modélisation des impacts du changement climatique sur les arbres. Ces collaborations ne bénéficient d'aucun financement mais ont pu mener à plusieurs publications encore en préparation.

Poursuite du travail engagé dans le cadre du réseau international **TRY** (caractéristiques des plantes). Faire le lien entre écologie et évolution afin de modéliser l'adaptation des organismes vivants au changement climatique (EcoEvol). I

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Stéphanon M, Martin-StPaul NK, Leadley P, Bastin S, Dell'Aquila A, Drobinski P, Gallardo C., 2015, **Testing climate models using an impact model: what are the advantages?**, *Climatic Change* 131:649-661.

This work focuses on the errors inherent in downscaling climate with several regional climate models (RCM) involved in the MedCordex program. It suggests that validation with climate data alone may not be sufficient to evaluate suitability for use in impact modeling, and that careful use of impact models can help to understand and evaluate biases in RCM output. M. Stéphanon was a postdoc on the MORCE-MED project, and is now a postdoc in the LabEx BASC.

Ruffault J., et al., 2014, **Projecting future drought in Mediterranean forests: bias correction of climate models matters!**, *Theoretical and Applied Climatology*, July 2014, Volume 117, Issue 1, pp 113-122, DOI 10.1007/s00704-013-0992-z.

This paper examines the use of regional climate models as inputs to models of drought impacts on forests. Comparisons with a dense network of meteorological station data showed that bias correction in temperature, insolation and precipitation was required. Two types of bias correction were tested and found to differ significantly, and therefore that bias correction constitutes an additional uncertainty in modeling climate change impacts. NK Martin-St.Paul was a post-doc in the HUMBOLDT project.

Stefanon M, Schindler S, Drobinski P, de Noblet-Ducoudre N, D'Andrea F., 2014, **Simulating the effect of anthropogenic vegetation land cover on heatwave temperatures over central France**, *Climate Research* 60:133-146.

This study illustrates the impact of land cover on regional climate during an extreme event — the 2003 heatwave in France. It shows that land cover effects on regional climate may be non-negligible and may differ between seasons depending on the status of the vegetation and their access to soil water. This work was carried in collaboration between the GIS MORCE-MED and HUMBOLDT projects. M. Stéphanon was a postdoc on the MORCE-MED project, and is now a postdoc in the LabEx BASC.

Cheabib A., et al., 2012, **Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty**, *Ecology Letters* 15:533-544 Science «Editor's choice» April 2012.

This paper illustrates the importance of multi-model comparison in evaluating uncertainty in climate change impacts on trees and forests. It used a much broader range of tree models and a more rigorous set of comparisons than in any previous study. This work was initiated in the ANR QDiv project, but substantial new work was carried out with GIS funding, and was coupled with the GIS participation in a science-practitioner-policy maker conference at the French Senate in 2010 entitled «Forêts: enjeux d'avenir». A. Cheabib was a post-doc in the HUMBOLDT project.

Kattge J., et al., 2011, **TRY – a global database of plant traits**, *Global Change Biology*, 17:2905-2935.

This paper lays out the objectives and methods for the creation of a global data base of plant traits. It highlights the potential for use of plant traits in modeling the response of vegetation. Initiated by the IGBP and DIVERSITAS international research programs and the Max Planck Institute in Jena, the GIS provided substantial support for two key meetings to establish and launch the global database. The database now contains 5.6 million trait records for more than 100,000 plant species. See <https://www.try-db.org/TryWeb/About.php> for



MEDICCBIO

Changement climatique, événements extrêmes et cycles biogéochimiques en Méditerranée

| | |
|-------------------------------|--|
| Porteurs | Sophie Bastin, LATMOS Jean-Claude Dutay, LSCE |
| Contacts | sophie.bastin@latmos.ipsl.fr jean-claude.dutay@lsce.ipsl.fr |
| Période | décembre 2011 - décembre 2013 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | LSCE, LATMOS, LMD |
| Labo. Hors GIS : | Laboratoire d'océanographie physique et biogéochimique (LOPB) École nationale supérieure de techniques avancées (ENSTA) |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/mediccbio |

OBJECTIFS

L'objectif de MEDICCBIO était de donner une représentation réaliste de la biogéochimie marine et de sa variabilité à l'échelle de la Méditerranée, une région vulnérable au changement climatique. L'originalité du projet consistait à proposer une modélisation de la biogéochimie marine à l'échelle du bassin, utilisant des modèles à des résolutions adaptées pour résoudre les processus océaniques impliqués dans les répartitions horizontales et verticales des écosystèmes marins.

RÉSULTATS MAJEURS

Ce projet a fortement contribué au développement de la plateforme de modélisation régionale MORCE en Méditerranée. Il a, en effet, permis de :

i) finaliser le couplage entre le modèle atmosphérique WRF et le modèle de circulation océanique NEMO à haute résolution (NEMO-MED12) et réaliser une simulation sur vingt ans afin d'étudier les interactions entre les deux systèmes. Le projet a permis de montrer l'importance des coups de vent sur la circulation océanique, mais aussi l'importance de l'effet mémoire des structures océaniques à des échelles de quelques jours qui joue un rôle sur les événements de précipitation intense ; le rôle des processus couplés sur la variabilité du bilan d'eau a aussi été mise en évidence. Cependant, cette simulation a révélé une forte dérive en salinité due à une évaporation trop forte, ce qui a mené à conduire des travaux sur le choix de paramétrisations physiques mieux adaptées en mer.

ii) réaliser le couplage du modèle de biogéochimie marine ECO3M avec le modèle de dynamique NEMO. Ce développement a permis d'étudier le cycle du carbone en mer Méditerranée et, en particulier, de quantifier, pour la première fois, les contributions relatives du carbone organique dissous et particulaire dans le stockage du carbone dans le bassin.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

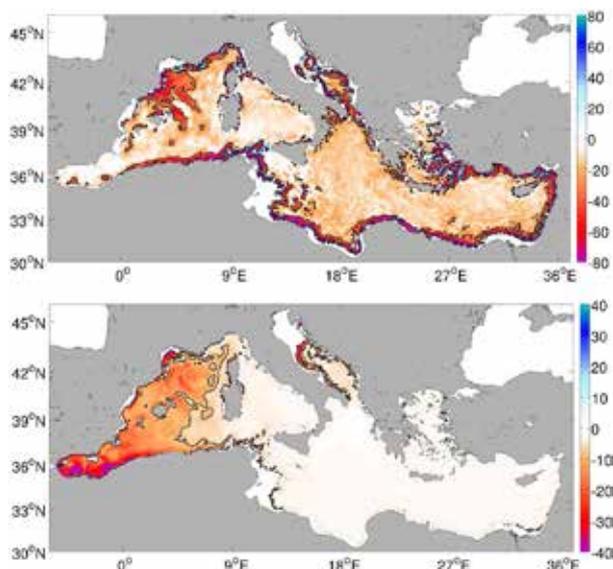
Le projet MEDICCBIO consistait à faire évoluer la plateforme de modélisation couplée régionale MORCE vers un couplage quadri-compartiments, impliquant l'atmosphère, l'océan, la surface continentale (et notamment l'apport en eau douce des fleuves) et la biogéochimie marine. Quatre disciplines ont donc collaboré pour ce projet.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet ANR **REMEMBER** (Compréhension et modélisation du système climatique régional couplé pour la prévention des risques hydrométéorologiques en Méditerranée dans un contexte de changement global).

2013-2016 - Porteur : P. Drobinski.

FIGURE CLÉ



Flux de carbone organique dissous et particulaire à 100 mètres de profondeur en mer Méditerranée.
D'après Guyennon et al, 2015.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Lebeaupin-Brossier C., et al., 2015, **Regional mesoscale air-sea coupling impacts and extreme meteorological events role on the Mediterranean Sea water budget**, *Clim. Dyn.*, 44 (3-4), 1029-1051, DOI : 10.1007/s00382-014-2252-z

Le bilan d'eau en Méditerranée, paramètre clé pour la circulation générale, est étudié à l'aide de 2 simulations océaniques (une forcée et une couplée). Il présente une forte variabilité spatiale et temporelle induite par la topographie, les processus de méso-échelle et les événements intenses qui contribuent significativement à ce bilan. Le rôle des processus couplés sur la redistribution de l'eau à méso-échelle, sur la variabilité saisonnière de l'évaporation (E) et des précipitations (P), ainsi que sur l'intensité et l'occurrence des extrêmes de E et P est mis en évidence.

Guyennon, A., Baklouti, M., Diaz, F., Palmieri, J., Beuvier, J., Lebeaupin-Brossier, C., Arsouze, T., Béranger, K., Dutay, J.-C., and Moutin, T.: **New insights into the organic carbon export in the Mediterranean Sea from 3-D modeling**, *Biogeosciences*, 12, 7025-7046, doi:10.5194/bg-12-7025-2015, 2015.

La mer Méditerranée est une région très oligotrophique où les nutriments (phosphates, nitrates) limitent la croissance du phytoplancton et du zooplancton. Cela conditionne fortement le stockage du carbone sous sa forme organique dans le bassin. Un modèle régional à haute résolution de la mer Méditerranée a été utilisé pour étudier le transfert de carbone organique. Il a été montré que le flux de carbone organique vers les masses d'eaux profondes est contrôlé principalement par forme dissoute, et le flux par rapport au transfert associé à la phase organique particulaire a pu être quantifié. Ces résultats permettent de mieux comprendre la dynamique du stockage de carbone en mer Méditerranée et d'appréhender la capacité de ce bassin à réagir face aux changements anthropiques.

Lebeaupin-Brossier C., et al., 2013, **Ocean memory effect on the dynamics of coastal heavy precipitation preceded by a mistral event in the northwestern Mediterranean**, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Royal Meteorological Society, 2013, 139 (675), pp.1583-1597. <10.1002/qj.2049> - hal-00769660

Porteur : Cécile Couharde, CEMOTEV (en 2010)

Contacts : cecile.couharde@u-paris10.fr
remi.generoso@gmail.com

Période : décembre 2009 - décembre 2012

Thèse : Le rôle des transferts de fonds dans un contexte de variabilité climatique : le cas des pays d'Afrique de l'Ouest. Rémi Generoso. Thèse soutenue le 16 décembre 2013.

Laboratoires impliqués

Labo GIS : CEMOTEV, LOCEAN

Labo. Hors GIS : Centre Population et Développement (CEPED)
Institut Européen d'Ecologie (IEE)
GIS Étude de la mondialisation et du développement (GEMDEV)

Site internet
<http://www.gisclimat.fr/projet/micliv>
Ce projet a bénéficié d'un financement de l'ADEME.

OBJECTIFS

MICLIV est un projet de thèse qui avait pour objectif d'appréhender le lien entre les effets du changement climatique sur le secteur agricole et les phénomènes migratoires dans différents pays d'Afrique subsaharienne.

Ce travail visait à qualifier et quantifier l'impact du changement climatique sur le secteur agricole des pays de l'Afrique subsaharienne et à déboucher sur le développement et le calcul d'indicateurs avancés de vulnérabilité

RÉSULTATS MAJEURS

Les résultats montrent que :

- i) les différences entre les totaux pluviométriques des saisons humides entre 2007 et 2006 et entre 2006 et 2005 constituent de bons instruments du revenu agricole des ménages au début de l'année 2008 dans les zones rurales du Mali. Les chocs négatifs sur le revenu conduisent alors à une hausse des transferts de fonds pour les ménages qui ont au moins un migrant établi à l'étranger. La réponse des transferts de fonds aux chocs sur le revenu est toutefois peu significative et plus faible au regard des exploitations agricoles caractérisées par des migrations de court terme ;
- ii) les transferts de fonds ont un effet important sur la sécurité alimentaire des ménages lorsque celle-ci est mesurée par leur accès aux aliments et leur consommation alimentaire. À l'inverse, il apparaît qu'ils n'exercent aucun impact sur la sécurité alimentaire structurelle lorsque celle-ci est mesurée par les équipements agricoles possédés par les ménages. Autrement dit, les transferts de fonds ont un rôle d'ajustement de la consommation alimentaire en cas de choc transitoire sur le revenu mais ils n'ont aucun effet sur la capacité des ménages à sortir de l'insécurité alimentaire lorsque celle-ci est structurelle ;
- iii) les envois de fonds des migrants établis à l'étranger peuvent avoir des conséquences macroéconomiques néfastes sur l'économie, malgré l'existence d'une relation contracyclique des transferts vis-à-vis des précipitations. En effet, malgré leur impact positif sur la capacité des ménages à lisser leur consommation dans le temps, les transferts de fonds favorisent une hausse des importations de biens agricoles en l'absence d'effets d'entraînements suffisants sur l'économie.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Cette thèse aborde la question des déterminants et les conséquences économiques des transferts de fonds issus de la migration dans les pays d'Afrique de l'Ouest, exposés à une forte variabilité climatique, sous l'angle

de leurs dimensions économique, sociale et environnementale. L'accent est en particulier porté aux interactions entre ces trois dimensions afin de restituer cette question dans la problématique plus générale du développement durable. D'un point de vue méthodologique, la thèse mobilise des approches visant à mieux articuler différents éléments du débat et à les intégrer dans une démarche cohérente. D'une part, l'impact de la variabilité climatique est analysé non seulement au niveau des processus physiques, mais également dans la capacité des sociétés à y faire face. La thèse s'appuie donc sur les complémentarités entre les approches macroéconomiques et microéconomiques, mais également sur des données issues des sciences de l'univers, de la nature, de l'ingénieur afin de capter, au mieux, certains risques liés à la variabilité climatique.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Le rôle des transferts de fonds dans un contexte de variabilité climatique : le cas des pays d'Afrique de l'Ouest.

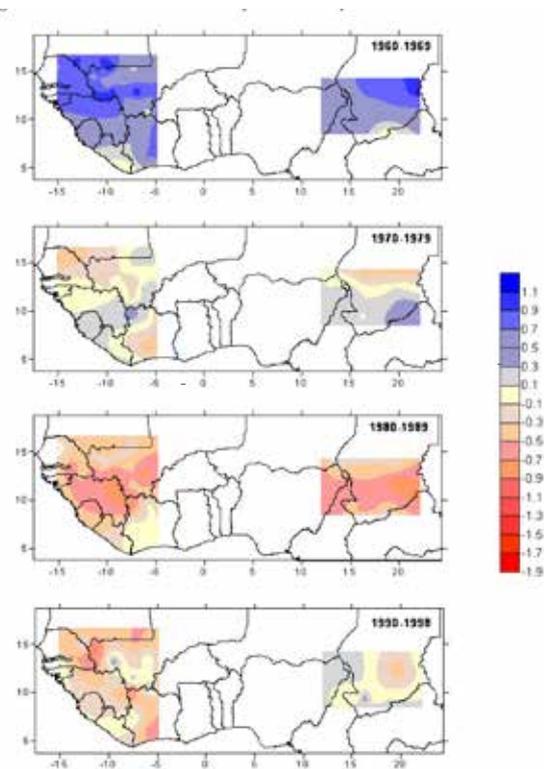
Thèse soutenue par Rémi Generoso en décembre 2013.
http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/these_0.pdf

Generoso, R., 2015, **Remittances, food security and resilience to rainfall variability : the case of rural Mali**, *Ecological Economics*, 188-198.

Couharde, C., Generoso, R., 2014, **The ambiguous role of remittances in West African countries facing climate variability**, *Environment and Development Economics*.

Geronimi, V. et al., 2013, **Le secteur coton au Mali dans un piège de sous-accumulation ?**, *Mondes en Développement*, Vol 164, p. 13-33.

FIGURE CLÉ



Évolution des indices pluviométriques décennaux de 1960 à 1998.

Note : Les indices pluviométriques sont calculés selon la formule suivante : $P=(X_i-X)/\sigma$ où X_i est la pluviométrie de l'année i , X est la pluviométrie moyenne sur la période de référence et σ est l'écart-type de la série pluviométrique sur la période de référence.

Source : Ardoin-Bardin Sandra, 2004, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne, thèse de doctorat, Université Montpellier II.

MORCE MED

Développement d'une plate-forme de modélisation régionale couplée pour l'étude des impacts régionaux

Porteur Philippe Drobinski, LMD
Contacts philippe.drobinski@lmd.polytechnique.fr
Période janvier 2008 - avril 2011
Thèse Canicules et sécheresses en Méditerranée : contributions des processus couplés surface-atmosphère à méso-échelle. Marc Stéfanon. Thèse soutenue le 1er octobre 2012.

Laboratoires impliqués

Labo GIS : LSCE, LMD, LOCEAN
Labo. Hors GIS : Centre national de recherches météorologiques (CNRM) Laboratoire d'océanographie physique et biogéochimique (LOPB)

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/morce-med>

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet européen FP7 **IMPACT2C** (Quantifier les impact d'un réchauffement global de 2°C). 2013-2016 - Porteur : D. Jacob

Programme international INSU-MISTRALS **HyMeX** (Hydrological cycle in the Mediterranean Experiment).

Programme WCRP **MED-CORDEX** (Mediterranean Coordinated Downscaling Experiment).

Projet ANR Modèles Numériques (MN) 2011 **PULSATION** (Simulation multi-échelle couplée océan-atmosphère sur calculateur peta scale). 2012-2015 - Porteur : S. Masson

Projet GIS Climat **HUMBOLDT** (Les impacts de l'homme sur la biodiversité et le climat au cours de l'anthropocène). 2009-2013 - Porteur : P. Leadley

Projet GIS Climat **MEDICCBIO** (Changement climatique, événements extrêmes et cycles biogéochimiques en Méditerranée). 2011-2013 - Porteurs : JC. Dutay et S. Bastin

Projet ANR 2012 **REMEMBER** (Compréhension et modélisation du système climatique régional couplé pour la prévention des risques hydrométéorologiques en Méditerranée dans un contexte de changement global). 2013-2016 - Porteur : P. Drobinski.

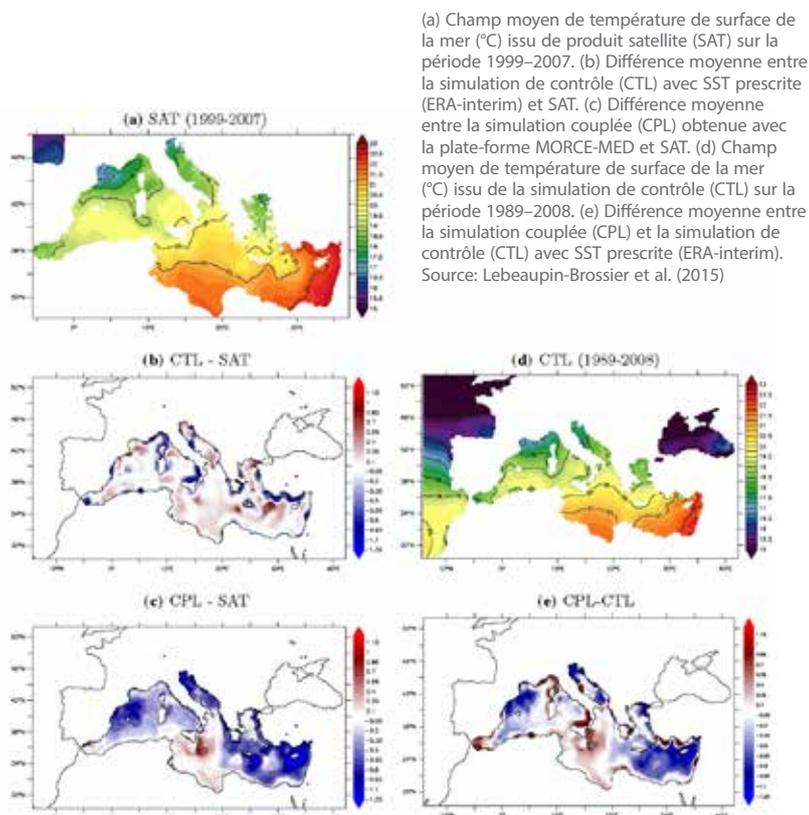
OBJECTIFS

Ce projet visait à mettre au point une plate-forme de modélisation régionale (bassin méditerranéen) qui, en se basant sur les prévisions globales de réchauffement, permettrait d'en évaluer les impacts (ressources en eau, productivité des terres, événements extrêmes). Elle reposerait sur le couplage de modèles régionaux – déjà développés – des différents compartiments du système Terre (océan, surface continentale, composition atmosphérique) et sur l'interfaçage avec les modèles globaux de l'IPSL.

RÉSULTATS MAJEURS

Le projet a permis le développement d'une première version de la plate-forme de modélisation régionale sur le bassin méditerranéen. Cette plateforme a largement été utilisée dans le cadre des programmes HyMeX et MED-CORDEX et a permis de conduire des études sur le rôle des processus couplés air/mer sur les processus dynamiques contrôlant le cycle de vie des précipitations intenses sur toute la Méditerranée nord-occidentale, et sur la variabilité spatiale et temporelle du bilan d'eau de la mer Méditerranée. Le projet MORCE-MED a permis d'analyser en détail les processus de rétroaction végétation/humidité des sols/atmosphère sur la formation des sécheresses et des canicules. Le projet MORCE-MED a permis d'essayer de nouveaux projets pour intégrer la biogéochimie marine et faire évoluer la plateforme vers une version 2, incluant l'usage systématique du coupleur OASIS-MCT pour le couplage avec ORCHIDE, NEMO et CHIMERE (GIS MED-ICCBIO et HUMBOLDT, LABEX BASC, ANR REMEMBER) et de positionner fortement l'IPSL sur les grands programmes de régionalisation du climat (CORDEX).

FIGURE CLÉ





DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Dans le projet MORCE-MED, la dimension interdisciplinaire est restée faible. Il a essentiellement fait interagir des spécialistes de la modélisation de l'atmosphère, de l'océan, de la surface continentale, de la chimie atmosphérique et de la biogéochimie marine. En revanche, la plate-forme MORCE-MED a permis d'initier une collaboration fructueuse avec les écologues du GIS Climat au travers du projet GIS HUMBOLDT et du LABEX BASC.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Marc Stéfanon, 2012, **Canicules et sécheresses en Méditerranée: contributions des processus couplés surface-atmosphère à méso-échelle.**

Thèse de l'Ecole Polytechnique soutenue le 1er octobre 2012.
http://www.lmd.polytechnique.fr/~intro/Files/2012-These_Stefanon.pdf

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2015, **Using Nudging to Improve Global-Regional Dynamic Consistency in Limited-Area Climate Modeling: What Should we Nudge?** *Clim. Dyn.*, 44, 1627–1644

Stéfanon M., Schindler S., Drobinski P., de Noblet-Ducoudré N., D'Andrea F., 2014, **Impact of Anthropogenic Land Cover Change on Warm Temperature Extremes: the Summer 2003 Heatwaves as a Testbed,** *Clim. Res.*, 60, 133–146

Lebeauin Brossier C., et al., 2013, **Ocean Memory Effect on the Dynamics of Coastal Heavy Precipitation Preceded by a Mistral Event in the North-Western Mediterranean,** *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, doi:10.1002/qj:2049.

Flaouas E., et al., 2013, **Dynamical Downscaling of IPSL-CM5 CMIP5 Historical Simulations over the Mediterranean: Benefits on the Representation of Regional Cyclogenesis,** *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-012-1606-7.

Flaouas E., et al., 2013, **Precipitation and Temperature Space-Time Variability and Extremes in the Mediterranean Region: Evaluation of Dynamical and Statistical Downscaling Methods,** *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-012-1558-y.

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2013, **Optimal Nudging Strategies in Regional Climate Modelling: Investigation in a Big-Brother Experiment over the European and Mediterranean Regions,** *Clim. Dyn.*, 41, 2451–2470

Drobinski P., Anav A., Lebeauin Brossier C., Samson G., Stéfanon M., Bastin S., Baklouti M., Béranger K., Beuvier J., Bourdallé-Badie

R., Coquart L., D'Andrea F., De Noblet-Ducoudré N., Diaz F., Dutay J.C., Ethe C., Foujols M.A., Khvorostyanov D., Madec G., Mancip M., Masson S., Menut L., Palmieri J., Polcher J., Turquety S., Valcke S., Viovy N., 2012, **Modelling the Regional Coupled Earth system (MORCE): Application to Process and Climate Studies in Vulnerable Regions,** *Env. Modelling and Software*, 35, 1-18

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2012, **Spectral Nudging in Regional Climate Modelling: How Strongly Should we Nudge?** *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 138, 1808-1813

Omrani H., Drobinski P., Dubos T., 2012, **Investigation of Indiscriminate Nudging and Predictability in a Nested Quasi-Geostrophic Model,** *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 138, 158-169

Stéfanon M., et al., 2012, **Effects of Interactive Vegetation Phenology on the 2003 Summer Heat Waves,** *J. Geophys. Res.*, 117, D24103, doi:10.1029/2012JD018187.

Lebeauin Brossier C., et al., 2012, **Sensitivity of the North-Western Mediterranean Coastal and Thermohaline Circulations as Simulated by the 1/12° Resolution Oceanic Model NEMO-MED12 to the Space-Time Resolution of the Atmospheric Forcing,** *Ocean Modelling*, 43–44, 94-107

Lebeauin Brossier C., et al., 2012, **Ocean Response to Strong Precipitation Events in the Gulf of Lions (North-Western Mediterranean Sea): A Sensitivity Study,** *Ocean Dyn.*, 62, 213-226.

Stéfanon M., et al., 2012, **Heatwave Classification over Europe and the Mediterranean Region,** *Env. Res. Lett.*, 7, doi:10.1088/1748-9326/7/1/014023.

Claud C., et al., 2012, **A High Resolution Climatology of Precipitation and Deep Convection over the Mediterranean Region from Operational Satellite Microwave Data: Development and Application to the Evaluation of Model Uncertainties,** *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 785-798.

Lebeauin Brossier C., et al., 2011, **The Mediterranean Response to Different Space-Time Resolution Atmospheric Forcings using Perpetual Mode Sensitivity Simulations,** *Ocean Modelling*, 36, 1-25.

Lebeauin Brossier C., Drobinski P., 2009, **Numerical High-Resolution Air-Sea Coupling over the Gulf of Lions during Two Tramontane/Mistral Events,** *J. Geophys. Res.*, 114, D10110, doi:10.1029/2008JD011601.

PAC

Pollen, allergies, climat

Porteur : Nicolas Viovy, LSCE
Contacts : nicolas.viovy@lsce.ipsl.fr
Période : juin 2008 - juin 2011
Laboratoires impliqués
Labo GIS : LSCE, LISA, LMD, PIFO
Labo. Hors GIS : Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA)
CERVEAU
Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE)
Site internet
<http://www.gisclimat.fr/projet/pac>

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Le projet proposait une forte dimension interdisciplinaire en intégrant les champs de l'écologie (phénologie et production végétal), de la santé (allergie) et de la climatologie (transport atmosphérique du pollen).

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet européen (FP7) **ATOPICA** (Atopic diseases in changing climate, land use and air quality).

2011-2014 - Porteur : Michelle Epstein, MUW, Autriche.

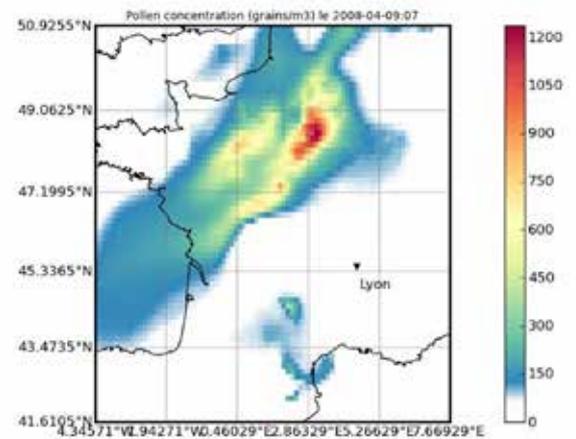
OBJECTIFS

Le projet PAC visait à construire un modèle des concentrations en pollens à partir des paramètres météorologiques, mais aussi à partir d'un modèle de floraison, d'un modèle de production quotidienne et des données de distribution spatiale des plantes, puis d'un modèle de transport. Les travaux menés visaient à modéliser les concentrations aériennes en pollen pour déboucher sur la constitution de cartes de risque allergique.

RÉSULTATS MAJEURS

L'étude a permis de développer une première maquette du modèle de production de pollen en se focalisant sur le pollen de bouleau. Le modèle phénologique PMP a été utilisé et calibré à partir des données de concentration mesurées en différentes stations du RNSA pour estimer les débuts, maximum et fin du cycle. Une carte de présence du bouleau a ensuite été produite en combinant la carte de végétation CORINE *land cover* et les données d'inventaires forestiers. Un module d'émission et de transport a été introduit dans le modèle CHIMERE. Un premier jeu de cartes de production pollinique a ainsi pu être réalisé et comparé aux observations.

FIGURE CLÉ



Concentration en pollen de bouleau simulée (grains par m³) le 9 avril 2008.
Source : projet PAC



PASTEK

Impact des changements globaux sur le soutien hydrologique du Mékong

| | |
|-------------------------------|--|
| Porteur | Christian Valentin, iEES |
| Contacts | christian.valentin@irf.fr |
| Période | janvier 2010 - décembre 2012 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | iEES, LSCE, METIS |
| Labo. Hors GIS : | Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie (LMTG) Institut de Recherche pour le Développement (IRD) |
| Coll. internationales : | International Water Management Institute (IWMI) National Agriculture and Forestry Research Institute (NAFRI) |
| Site internet | http://www.gisclimat.fr/projet/pastek |

très marqué entre les populations des plaines et vallées et celles des bassins versants montagneux en termes d'accès à l'eau potable et aux installations de soins.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce projet a réuni des disciplines très diverses depuis la géophysique superficielle et la modélisation numérique jusqu'à la géographie et les questions de santé humaine, en passant par l'agronomie, l'écologie, la pédologie, l'hydrologie et la microbiologie. Comme le reflète les articles produits par les équipes mobilisées par ce projet, les travaux ont donné lieu à une interdisciplinarité forte, fondée sur une analyse des causes et des effets des changements d'usages des terres. Ces impacts, tant sur les flux d'eau que sur les contaminants, sont bien plus rapides, dans cette région, que ceux des changements climatiques.

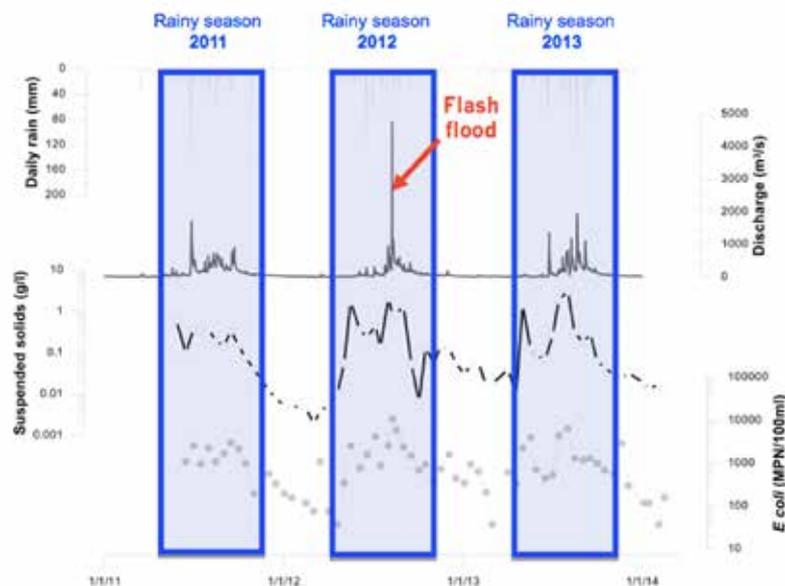
OBJECTIFS

Le projet PASTEK visait à étudier les impacts du changement global sur les volumes et la qualité des eaux de l'un des sous bassins du Mékong : le bassin versant de la Nam Khan (7 400 km²), situé au Laos. Le premier volet de ce projet consistait à comprendre, à partir de données déjà nombreuses, le lien entre usage des terres, signal pluviométrique, réponse hydrologique et qualité des eaux. Le second volet était dédié au développement d'un modèle fondé sur les mesures de débits réalisées sur la Nam Khan depuis 1960 et à l'extrapolation de ce modèle sur la période 2010-2050 suivant plusieurs scénarii d'évolution climatique et de changement d'usage des terres.

RÉSULTATS MAJEURS

Le projet Pastek a clairement illustré l'impact des changements d'usages des terres sur la production de ruissellement à l'échelle de la parcelle, mais aussi des écoulements à l'échelle des petits bassins versants cultivés du Laos. Ainsi, l'abandon de l'agriculture du riz pluvial au profit du teck s'accompagne d'une forte augmentation du ruissellement et des pertes en terres du fait d'une mauvaise gestion du sous-bois. Le sol nu reçoit l'impact direct des gouttes plus grosses sous teck que sous riz. A l'échelle des petits bassins versants, l'analyse et la modélisation hydrologique des cycles d'abattis-brûlis montrent que les phases de jachères tendent à réduire les écoulements de basses eaux du fait d'une évapotranspiration plus forte que sous cultures annuelles. Sur le très grand bassin versant de la Nam Khan, il n'a pas été possible, en revanche, de mettre en évidence de telles relations entre changements d'usages et régime hydrologique. L'analyse de la qualité bactérienne des eaux depuis la petite parcelle jusqu'au très grand bassin versant a mis en évidence des pollutions ponctuelles liées aux villages et aux petites industries, mais plus encore des pollutions diffuses en provenance des bassins versants du fait des déjections animales (volaille, porcs, bétail) et humaines. La cartographie participative a mis en évidence un décalage

FIGURE CLÉ



Évolution de la pluie journalière, du débit, de la charge particulaire en suspension et de la teneur en *Escherichia coli* à l'exutoire de la Nam Khan au Laos ; mise en évidence d'une plus forte contamination lors des écoulements de crue en particulier lors des périodes d'inondation exceptionnelle comme lors de la crue éclaircie du 8 août 2012.
Source : projet PASTEK.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet ANR **BIODIVHEALTHSEA** (Impacts et perceptions locales des changements globaux : santé, biodiversité et zoonoses en Asie du Sud-Est).
2012-2015 - Porteur : Serge Morand, CNRS, ISEM.

Projet ANR **TEAKITEASY** (Consequences of the expansion of tree plantations on the hydro-sedimentary functioning of tropical montane agro-ecosystems. Use of aquatic microbial diversity as an integrative proxy of the impact of land use change on watershed services, in interaction with climate change).
2014-2016 - Porteur : Olivier Ribolzi, IRD, GET.

Projets INSU EC2CO **BELCRUE** et **BELKONG** (Utilisation du béryllium-7 pour le traçage des sédiments fins depuis



Photos de la rivière en crue prises le 8 août 2012 à Luang Prabang avant la confluence avec le Mekong (photo de gauche) et au niveau du village de Xieng Ngun (photo de droite).

Source : Causse et al., *Journal of Environmental Hydrology*.

les petits bassins amont jusqu'aux grands fleuves : étude exploratoire de Houay Pano au Mékong). 2012-2013.

Projet CNRS PEPS **MIASMES** (Maladies liées aux Inondations : approche socio-spatiale sur les affluents du MEkong). 2012.

Thèse : le succès de l'utilisation du modèle RIVERSTRAHLER à la pollution fécale de la Nam Khan, au nord Laos, a encouragé la définition d'un sujet de thèse portant sur le même sujet, mais au Viêt-Nam, dans le contexte du Fleuve Rouge.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Saqalli M., et al., 2015, **Backward waters, modern waters: perception-based regional. Mapping territory uses and water-related sanitary stakes in Luang Phabang area (Lao PDR)**, *Applied Geography* 60: 184-193.

Cet article examine la pertinence de la PBRM, un outil de cartographie fondée sur les perceptions des parties prenantes, pour évaluer le lien entre l'utilisation des terres et les questions de santé. Il met en évidence le fossé social entre, d'une part, les plaines et vallées à proximité de Luang Phrabang qui ont depuis quelques années un accès à l'eau potable, via des réseaux de distribution privés, et aux services de santé, et les zones de montagne restées à l'écart de cette transition.

Causse, J. et al., 2015, **Field and modelling studies of Escherichia coli loads in tropical streams of montane agro-ecosystems**, *Journal of Hydro-environment Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2015.03.003>

Huon, S., et al., 2013, **Long-term soil carbon loss and accumulation in a catchment following the conversion of forest to arable land in northern Laos**, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 169: 43-57.

Cet article combine de nombreuses approches: agronomiques, pédologiques, géochimiques (Césium 137) et géophysiques en vue de reconstituer, à partir de prélèvements effectués dans des fosses d'une zone marécageuse du bassin versant de Houay Pano, l'évolution des pertes en carbone sur les versants (21% en 42 ans), consécutives à la mise en culture depuis le début des années 60 et son accumulation associée au changement de végétation à proximité et dans le cours d'eau.

Lestrelin, G., et al., 2012, **Challenging established narratives on soil erosion and shifting cultivation in Laos**, *Natural Resources Forum*, 36, 63-75.

Le discours des autorités laotiennes fait porter à la culture itinérante sur brûlis la responsabilité de la dégradation des terres, mais, comme le perçoivent les paysans, et comme le confirment les mesures de terrain, cette dégradation est surtout due à la réduction de la durée de jachère qui, elle-même, résulte d'une politique gouvernementale de regroupement des populations sur des territoires limités, ce qui conduit à une pénurie des terres allouées à l'agriculture.

Patin, J., et al., 2012, **Analysis of runoff production at the plot scale during a long-term survey of a small agricultural catchment in Lao PDR**, *Journal of Hydrology*, 426-427: 79-92.

L'intensité d'infiltration de l'eau dans les sols, analysée à partir de près de 3 000 données recueillies sur parcelles de ruissellement sous pluie naturelle, diminue depuis les couverts herbacés (110 mm/h), les jachères (74 mm/h), le bananier (37 mm/h) jusqu'au riz pluvial (19 mm/h), au teck sans sous-bois (18 mm/h), au bambou (14 mm/h), et au sol nu (10 mm/h). Le meilleur prédicteur statistique de cette intensité d'infiltration n'est pas la pente mais le pourcentage de croûte superficielle.

Ribolzi O., et al., 2011, **Impact of slope gradient on soil surface features and infiltration on steep slopes in northern Laos**, *Geomorphology*, 127 p.53-63.

Des mesures d'intensité d'infiltration de l'eau, réalisées sur des parcelles travaillées manuellement et soumises à des simulations de pluie, montrent que cette infiltration augmente avec le gradient de pente du fait d'un moindre enroûtement superficiel. L'analyse très fine de la microtopographie et des états de surface par micromorphologie sous rayons X, font apparaître des micro-terrasses beaucoup plus perméables et moins sensibles à l'érosion pour des pentes de 75% que pour des pentes de 30%.

Ribolzi O., et al., 2011, **Land use and water quality along a Mekong tributary in Northern Lao P.D.R**, *Environmental Management*, 47 : 291-302. DOI 10.1007/s00267-010-9593-0.

Les mesures de contaminations bactériennes de l'eau le long du Houay Xon (22,4 km²) mettent en évidence des zones de pollutions ponctuelles associées au bétail qui divague près des rives, aux villages, aux petites industries, mais aussi des pollutions plus diffuses en provenance des bassins versants cultivés. A ces pollutions d'origine anthropique, s'ajoutent de fortes teneurs en métaux (fer, manganèse, sous forme colloïdale), dans les zones marécageuses.

Lacombe G., et al., 2010, **Conflict, migration and land-cover changes in Indochina: a hydrological assessment**, *Ecology*, 3(4):382-391.

Les changements hydrologiques à long terme du Mékong et de ses affluents, notamment l'augmentation de leurs débits, suggèrent que la déforestation induite par la guerre du Viêt-Nam (la plupart des bombardements ont atteint le Laos long de la piste Ho Chi Minh) a des effets hydrologiques-plus importants et durables qu'estimé auparavant. Les zones de végétation dégradée correspondent encore à celles des bombardements les plus massifs.



Luang Prabang et la Khan River.
© Allie_Caulfield / Flickr

PEPER

Plans d'expérience appliqués à la prévision des extrêmes climatiques régionaux

Porteur Philippe Naveau, LSCE
Contacts philippe.naveau@lsce.ipsl.fr
Période septembre 2010 - mars 2014
Thèse Théorie des valeurs extrêmes et applications en environnement.
Théo Rietsch.
Thèse soutenue le 14 novembre 2013.

Laboratoires impliqués

Labo GIS : CIREN, LSCE, LMD
Labo. Hors GIS : Institution de scienc financière et d'assurances

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/peper>

Ce projet a bénéficié d'un financement de l'ADEME.

OBJECTIFS

Dans le cadre du changement climatique et de la réforme du système français d'assurance, la question du critère définissant une catastrophe naturelle occupe une place centrale. La définition d'un critère objectif et quantifié n'est possible qu'en présence d'un réseau de mesure suffisamment dense, permettant une bonne modélisation probabiliste des événements extrêmes.

Le projet PEPER visait à optimiser ces réseaux de mesure et à proposer des outils concrets d'aide à la décision. L'objectif était de concevoir, en s'appuyant sur l'expertise de trois communautés (mathématiques, climatologie et économie), des réseaux de mesure réalistes dans le but de détecter, mesurer, et prévoir les événements extrêmes dans un cadre probabiliste et décisionnel.

RÉSULTATS MAJEURS

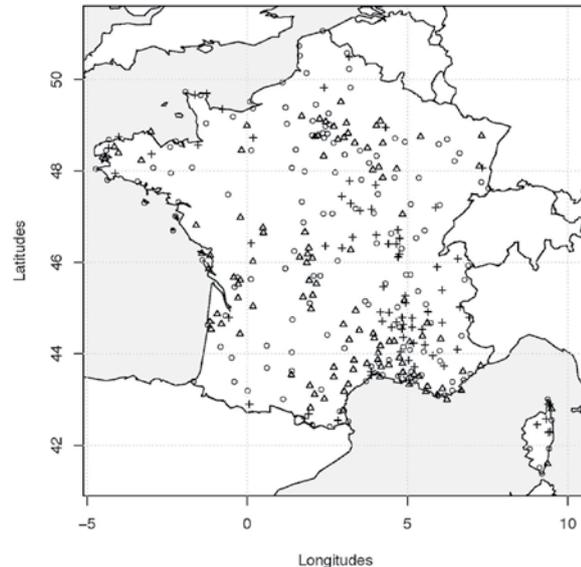
Le projet PEPER visait à mettre en lumière l'importance du *design* des réseaux de mesure. La question était la suivante : « Où faut-il retirer des stations météorologiques pour perdre le moins d'informations ? » Le jeu de données utilisé comprenait 331 stations pluviométriques de Météo-France pour la période 1980 à 2010. Concernant les extrêmes de pluie et, au regard à la forte densité du réseau dans la région méditerranéenne, l'équipe du projet s'est demandé s'il était préférable d'enlever des stations dans une région de forte densité du réseau où les précipitations sont très abondantes ou dans un endroit isolé où les précipitations sont moins fortes ?

La clef pour répondre à cette question était l'estimation des incertitudes liées aux paramètres décrivant la densité de probabilité des pluies extrêmes. Rietsch et al., 2013 présente la modélisation des précipitations fortes en traitant d'abord la théorie des valeurs extrêmes et en particulier la distribution de Pareto généralisée (GP) modélisant les valeurs au-dessus d'un seuil élevé. Le but était d'enlever quatorze stations du réseau. Les résultats ont montré qu'il était préférable d'enlever des stations au nord, bien que la densité du réseau soit faible, plutôt que dans le sud où la densité est bien plus forte. Ces conclusions ont ensuite été expliquées à la fois par des arguments statistiques et climatiques.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Trois communautés (mathématiques, climatologie et théorie de l'optimisation) ont été nécessaires pour explorer le problème proposé. La théorie probabiliste de l'analyse des valeurs extrêmes a permis d'avoir un socle mathématique solide. Une expertise en climatologie a été requise pour analyser les exemples traités (pluies et températures extrêmes). Et des techniques d'optimisation ont été invoquées pour trouver le meilleur *design* spatial.

FIGURE CLÉ



Localisation de 331 stations de mesures météorologiques de surface en France. Source: Météo-France.

Le jeu de données χ_O représenté par des «o» correspond aux 147 stations météorologiques de meilleure qualité. Le second groupe χ_Δ représenté par des « Δ » correspond aux 110 stations météorologiques de qualité suffisante pour les procédures de validation et test. Le dernier groupe χ_+ représenté par des «+» correspond aux 74 stations météorologiques de moins bonne qualité et contient les stations susceptibles d'être supprimées. Source : Rietsch et al. (2013).

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Théorie des valeurs extrêmes et applications en environnement.

Thèse soutenue par Théo Rietsch en novembre 2013.
<http://www.gisclimat.fr/soutenance-de-thèse-de-théo-rietsch-théorie-des-valeurs-extrêmes-et-applications-en-environnement>

Naveau P., et al., 2014, **A non-parametric entropy-based approach to detect changes in climate extremes**, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 76(5), 861-884.

Cet article se concentre principalement sur les températures extrêmes mesurées, sur des durées longues, dans vingt-quatre stations européennes. Les températures moyennes dans cette région s'étant réchauffées au cours du siècle dernier, ce changement se retrouve également dans les extrêmes. Après suppression de cette tendance au réchauffement, la question de déterminer si d'autres changements sont détectables dans ces événements extrêmes est traitée.

Naveau, P., et al., 2014, **A fast nonparametric spatio-temporal regression scheme for generalized Pareto distributed heavy precipitation**, *Water Resour. Res.*, 50, 4011–4017, doi:10.1002/2014WR015431.

Rietsch, T. et al., 2013, **Network design for heavy rainfall analysis**, *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 118(23) :13,075–13,086.

Sabourin, A., Naveau, P., 2013, **Bayesian Dirichlet mixture model for multivariate extremes: a re-parametrization**, *Computational Statistics and Data Analysis*, Elsevier.

Bernard E., et al., 2013, **Clustering of maxima: spatial dependencies among heavy rainfall in France**, *Journal of Climate*, 26(20) :7929– 7937.

Cooley D., et al, 2012, **Approximating the conditional density given large observed values via a multivariate framework, with application to environmental data**, *The Annals of applied statistics*, Vol.6, No.4, 1406-1429 DOI : 10.1214/12-AOAS554.

Sabourin, A., et al., 2013, **Bayesian model averaging for multivariate extremes**, *Extremes*, p.1-26.

PLUIES TIBET

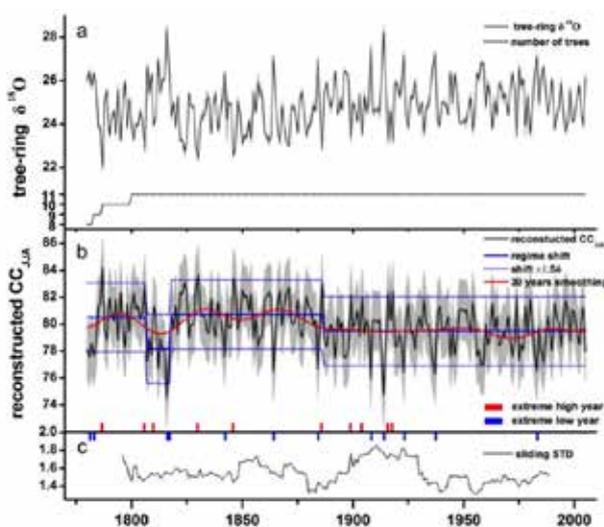
Étude de la variabilité des précipitations au sud-est du Tibet par analyse isotopique des cernes des arbres, des glaciers et des précipitations

| | |
|-------------------------------|---|
| Porteur | Valérie Masson-Delmotte, LSCE |
| Contacts | valerie.masson@cea.fr |
| Période | mai 2008 - septembre 2010 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | LSCE, LMD |
| Labo. Hors GIS : | Laboratoire Milieux, sociétés et cultures en Himalaya |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/pluies-tibet |

OBJECTIFS

Le projet PLUIES-TIBET était basé sur l'analyse des isotopes stables de carbone (^{13}C) et d'oxygène (^{18}O) des cernes d'arbres pour fournir une meilleure estimation de l'impact de la variabilité interannuelle, décennale et centenaire des précipitations sur d'autres variables climatiques, une évaluation des simulations de modèles atmosphériques pour cette région et de la réponse des arbres/forêts locales au changement climatique.

FIGURE CLÉ



^{18}O issue des cernes d'arbres au Tibet sur la période XIX^{ème} and XX^{ème} siècles (a) et reconstruction de la couverture nuageuse sur la même période (b). Les analyses statistiques mettent en avant un changement de régime vers un climat plus sec au début du XX^{ème} siècle. On notera également une période de sécheresse dans les années 1810 certainement liée à deux éruptions volcaniques majeures qui se sont produites en 1809 et 1815 (Tambora). From Shi et al. 2012.

RÉSULTATS MAJEURS

Contrairement aux attentes théoriques selon lesquelles la discrimination du carbone serait très sensible à l'humidité relative au cours de la saison de croissance, des mesures de cernes d'arbres sur une période de cinquante ans, effectuées sur un groupe de jeunes arbres, se sont révélées décevantes : les données présentaient d'importants écarts entre les arbres et aucun lien avec les indicateurs locaux de climat ou d'humidité n'a pu être observé sur la base des analyses statistiques. Les simulations effectuées en utilisant le modèle ORCHIDEE-iso pour la discrimination du carbone laissent à penser que l'absence de signal face aux indicateurs climatiques de moyennes saisonnières s'explique par l'intermittence de la photosynthèse, qui atténue l'empreinte climatique instantanée.

En revanche, les ^{18}O ont fourni des résultats plus satisfaisants. Une comparaison avec les données météorologiques a fait apparaître de bonnes corrélations avec des indicateurs d'humidité, y compris de l'humidité relative, l'indice de sécheresse de Palmer, les données sur la couverture nuageuse et les précipitations. La plus forte corrélation linéaire a pu être obtenue grâce aux données régionales de la couverture nuageuse. Le modèle ORCHIDEE-iso a également été utilisé pour simuler la dynamique de ^{18}O des arbres. Il a permis également de simuler une forte corrélation entre ^{18}O et l'humidité relative locale, conformément aux prévisions obtenues grâce aux mécanismes de l'enrichissement de l'eau de feuilles.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce projet a mené à une collaboration entre modélisateurs du climat et paléoclimatologues.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Yao, T., et al. 2013, **A review of climatic controls on $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation over the Tibetan Plateau: Observations and simulations**, *Rev. Geophys.*, 51, 525–548, doi:10.1002/rog.20023.

C. Shi, V. Masson-Delmotte, C. Risi, T. Eglin, M. Stievenard, M. Pierre, X. Wang, J. Gao, F.M. Bréon, Q.B. Zhang, V. Daux, 2011, **Sampling strategy and climatic implications of tree-ring stable isotopes on the southeast Tibetan Plateau**, *Earth and Planetary Science Letters* ; 301 : 307–316 ; Janvier 2011.

Chunming Shia, Valérie Masson-Delmotte, Camille Ristic, Thomas Eglin, Michel Stievenard, Monique Pierre, Xiaochun Wang, Jing Gao, François-Marie Bréon, Qi-Bin Zhang, Valérie Daux, 2011, **Sampling strategy and climatic implications of tree-ring stable isotopes on the southeast Tibetan Plateau**, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 301, Issues 1–2, 3 January 2011, Pages 307–316, doi:10.1016/j.epsl.2010.11.014.

C. Shi, V. Masson-Delmotte, V. Daux, Z. Li and Q.B. Zhang, 2010, **An unstable tree-growth response to climate in two 500 year chronologies, North East Qinghai-Tibetan Plateau**, *Dendrochronologia*, 28, 225–237.

J. Gao, V. Masson-Delmotte, T. Yao, L. Tian, C. Risi and G. Hoffmann, 2010, **Precipitation water isotopes in the south Tibetan Plateau : observations and modelling**, *Journal of Climate*.

PREMAPOL

Pollution atmosphérique et risque de prématurité

| | |
|-------------------------------|--|
| Porteur | Patrick Rozenberg, PIFO Philippe Aegerter, PIFO |
| Contacts | prozenberg@chi-poissy-st-germain.fr |
| Période | janvier 2008 - février 2010 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | PIFO, LMD |
| Labo. Hors GIS : | UPRES EA 2506 Santé-Environnement-Vieillessement, UVSQ, Paris UPRES EA 7285 Risques cliniques et sécurité en santé des femmes et santé périnatale, UVSQ, Poissy |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/premapol |

OBJECTIFS

La plupart des études font état d'une saisonnalité des naissances, du taux de prématurité, des poids de naissance et de la pré-éclampsie. Ces variations sont hétérogènes en amplitude et en périodicité selon les pays, en raison également de méthodologies diverses n'incluant pas toujours l'ensemble des facteurs de risque connus chez les femmes enceintes. Des médecins, statisticiens et spécialistes de la qualité de l'air proposaient de collaborer pour mener une nouvelle étude évaluant les effets du climat et de la pollution atmosphérique sur l'issue de la grossesse.

RÉSULTATS MAJEURS

Une étude de la littérature épidémiologique environnementale relative à la grossesse sur les deux plans de la météorologie et de la pollution atmosphérique a tout d'abord été menée. Il est apparu que la pré-éclampsie constituait un sujet encore peu étudié dans un environnement occidental à climat tempéré, mais intéressant car posant des questions de physiologie (les facteurs environnementaux pouvant agir par l'un des nombreux mécanismes évoqués à l'origine de cette pathologie) et de méthodologie (détermination de la temporalité de l'effet et identification du composant météorologique ayant le plus d'influence).

La base de données du registre des maternités des Yvelines (MYPA), dont la qualité est contrôlée dans le cadre du réseau francilien Perinat-ARS-IDF, les données quotidiennes des stations Météo-France et, enfin, les données INSEE relatives aux communes de résidence des mères (niveau socio-économique, déplacements, espaces verts) ont été utilisées.

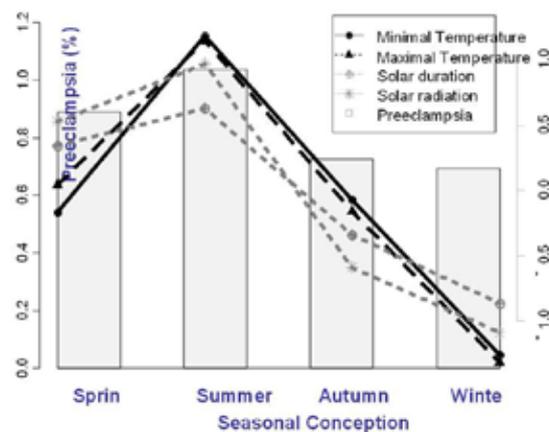
Un premier travail a montré qu'une augmentation de la température ou de l'ensoleillement au cours du premier mois ou du premier trimestre de grossesse était associée à un risque accru de pré-éclampsie sévère. Un second travail a cherché à explorer finement, par fenêtres de deux ou quatre semaines, la période de sensibilité maternelle maximale ainsi qu'à identifier, parmi l'ensemble des paramètres météorologiques disponibles, le composant ayant l'effet le plus fort en recourant à des méthodes de *clustering* de variables, encore peu utilisées dans ce domaine.

Cependant, l'imprécision dans l'estimation de la date de conception, circonscrite dans un intervalle de +/- 5 jours alors que les phénomènes initiaux de la grossesse sont très rapides, pose problème. Aussi, il a été décidé de se tourner vers l'étude des conceptions et grossesses issues de fécondations *in vitro* pour mesurer beaucoup plus précisément l'impact environnemental sur la reproduction humaine (qualité des gamètes, fécondation, implantation, développement embryonnaire).

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce travail a bénéficié de rencontres de travail avec l'Agence Régionale de Santé pour le réseau périnatalité, le Pr Rémy Slama de l'Institut A. Bonniot à Grenoble (cohortes de nouveaux-nés LISA et EDEN), l'ORS d'Ile-de-France et la société Sépia autour de la modélisation des expositions environnementales, le Pr Pilkington (géographie de la santé, Paris VIII) sur les questions de distance et d'impact de l'environnement de vie, l'OSU de l'UVSQ sur les questions de géolocalisation.

FIGURE CLÉ



Evolution saisonnière des températures, de l'ensoleillement et du risque de pré-éclampsie sévère.

Source : projet PREMAPOL.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Étude PHRC inter-régional **MeteoFIV** (de l'influence des conditions environnementales sur les tentatives de fécondation *in vitro* et les grossesses induites).

2013 - Porteurs : Dr A Beauchet, Pr P Aegerter, Pr R Levy.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Laaidi M., et al., 2011, **Conséquences de la pollution de l'air sur l'issue de la grossesse : revue de la littérature**, *Environnement, Risques et Santé*, 10(2):128-41.

L'objectif de cet article est de faire la synthèse des principales études sur l'influence de la pollution atmosphérique sur les issues de la grossesse, à l'exception des décès.

Laaidi M., et al., 2011, **Conséquences des conditions météorologiques sur l'issue de la grossesse : revue de la littérature**, *Environnement, Risques et Santé*, 10(2):128-41.

L'objectif de cet article est de faire la synthèse des principales études sur l'influence des conditions météorologiques sur les issues de la grossesse.

Tran TC., et al., 2015, **Are meteorological conditions within the first trimester of pregnancy associated with the risk of severe pre-eclampsia?** *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 29(4), 261-270.

La pré-éclampsie sévère (SPE) est la deuxième cause de mortalité maternelle dans les pays développés. La littérature suggère différents facteurs de risque selon que la pré-éclampsie est précoce ou tardive. La SPE est généralement d'apparition précoce. Les taux de pré-éclampsie présentent des variations saisonnières cependant, l'influence météorologique reste méconnue. Nous avons examiné l'association entre la SPE et l'exposition maternelle aux conditions météorologiques post-conception.

RADIOCLIMFIRE

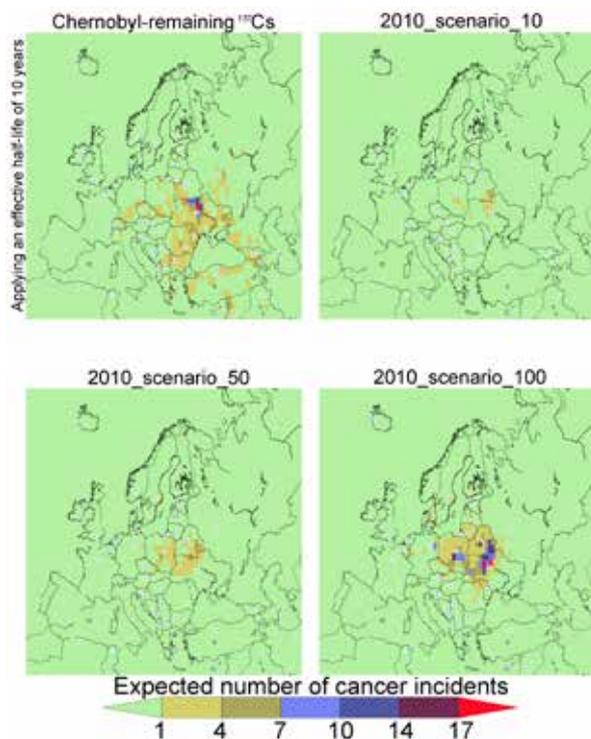
Radioactivité, climat et santé humaine : vers un second Tchernobyl ?

| | |
|-------------------------------|---|
| Porteur | Anders Pape Moller, ESE |
| Contacts | anders.moller@u-psud.fr |
| Période | novembre 2011 – janvier 2014 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | ESE, LSCE |
| Labo. Hors GIS : | Université de Caroline du Sud (Etats-Unis) Université d'Alabama (Etats-Unis) |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/radioclimfire |

OBJECTIFS

Le projet de recherche RADIOCLIMFIRE visait à s'interroger sur les impacts potentiels du changement climatique sur l'occurrence des feux de forêts et de ses incidences potentielles sur la santé humaine compte tenu de la possibilité de remise en circulation aérienne d'une partie de la radioactivité stockée dans les plantes depuis l'accident de Tchernobyl.

FIGURE CLÉ



Nombre d'apparition de cancers du à l'exposition au ¹³⁷Cs (dans l'air, par dépôt, par inhalation et ingestion).
Source : N. Evangeliou et al., 2015.

RÉSULTATS MAJEURS

Après l'accident de Tchernobyl de 1986, une très importante quantité de Césium 137 (¹³⁷Cs) se répand dans une large zone allant de l'Ukraine et de la Biélorussie jusqu'aux Alpes. Plusieurs milliers de kilomètres carrés sont alors totalement interdits d'accès et sont peu à peu regagnés par la forêt et, plus généralement, par la végétation, qui produit une importante biomasse favorable aux déclenchements de feux. Dans le cadre du projet RADIOCLIMFIRE, les incendies des 31 juillet 2002, 20 mars 2008 et 19 juillet 2010 ont été simulés. Alors que l'explosion de la centrale de Tchernobyl a libéré une quantité de ¹³⁷Cs équivalente à 85 000 térabecquerel (TBq) fin avril 1986, les incendies réels et simulés

libèrent, sur une période de plusieurs mois et de façon quasi-continue, des quantités situées entre 290 TBq et 4200 TBq. N'importe lequel des trois scénarii étudiés (10, 50 ou 100 % de la zone d'exclusion brûlée), constituerait un accident majeur sur l'échelle INES (*International Nuclear and Radiological Event Scale*). Il a aussi été possible de modéliser les zones où le ¹³⁷Cs s'est déposé, ou se déposerait, ainsi que le cumul des quantités déposées, dans ces six cas de figure.

Le projet visait également à étudier les effets d'incendies massifs. Des scénarios ont été établis sur la base de l'incendie de 2010 pour des surfaces incendiées de 10, 50 et 100 % des zones d'exclusion d'Ukraine, de Biélorussie et de Russie. Les scénarios relatifs à des surfaces incendiées de 50 et de 100 % des zones d'exclusion libéreraient des quantités de l'ordre de 290 à 4200 TBq de ¹³⁷Cs, quantités comparables à celles libérées par le site de Tchernobyl à partir de juillet 1986 et par celui de Fukushima à compter de mai 2011.

Ainsi, le scénario d'un incendie de type 2010, qui couvrirait 100 % des zones d'exclusion, déboucherait sur 20 à 240 cas de cancers supplémentaires, dont la moitié avec issue fatale.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Ce projet a rassemblé des chercheurs provenant d'horizons très différents : climatologie, biodiversité, écologie, biosphère terrestre et radioécologie.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Evangeliou et al., 2015, **Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and the environment**, *Ecological Monographs* 85:49–72. <http://dx.doi.org/10.1890/14-1227.1>

Cet article analyse la situation actuelle et à venir des forêts d'Ukraine et de Biélorussie qui ont été contaminées après la catastrophe nucléaire en 1986. L'utilisation de plusieurs modèles, assortis des données de télédétection et d'observations, ont permis d'étudier la façon dont le changement climatique dans ces forêts pouvait affecter les régimes de feu ainsi que la possibilité de déplacement, en Europe, de ¹³⁷Cs.

Evangeliou, N., et al., 2014, **How "lucky" we are that the Fukushima nuclear accident occurred in early spring. Predictions on the contamination levels from various fission products released from the accident and updates on the risk assessment for solid and thyroid cancers**, *The Science of the Total Environment*, 500–501, 155–172.

Cette article étudie comment un événement aléatoire (tremblement de terre) et le désastre qui a suivi au Japon affectent le transport et le dépôt de retombées radioactives et les conséquences sur la santé. En plus de l'accident de mars 2011, trois autres scénarios sont simulés (hiver 2010, été 2011 et automne 2011).

Evangeliou et al., 2014, **Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen?**, *Environ Int.*, 73, 346–358, doi 10.1016.

Après l'accident de Tchernobyl, plusieurs milliers de kilomètres carrés sont totalement interdits d'accès et sont peu à peu regagnés par la forêt et, plus généralement, par la végétation, qui produit une importante biomasse favorable aux déclenchements de feux. Suivant le scénario, entre 20 et 240 personnes supplémentaires pourraient être atteintes de cancer, dont 10 à 170 pourraient être fatales.

Evangeliou et al., 2014, **Global and local cancer risks after the Fukushima nuclear power plant accident as seen from Chernobyl: A modeling study for radiocaesium (¹³⁴Cs & ¹³⁷Cs)**, *Environment International* 64, 17–27. doi: 10.1016.

Cet article étudie les effets de deux des radionucléides les plus dangereux émis, ¹³⁷Cs et ¹³⁴Cs, lors de l'accident de la centrale de Fukushima.

N. Evangeliou, et al., 2013, **Simulations of the transport and deposition of ¹³⁷Cs over Europe after the Chernobyl NPP accident: influence of varying emission-altitude and model horizontal and vertical resolution**, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 13, 7681–7736.

Le modèle couplé LMDZORINCA a été utilisé pour simuler le transport et les dépôts du traceur radioactif ¹³⁷Cs après des accidents nucléaires. Ce papier présente quatre simulations différentes.

N. Evangeliou, et al., 2013, **Global Transport and Deposition of ¹³⁷Cs Following the Fukushima NPP Accident in Japan: Emphasis on Europe and Asia Using High-Resolution Model Versions and Radiological Impact Assessment of the Human Population and the Environment Using Interactive Tools**, *Environ. Sci. Technol.*, 47, 5803–5812, DOI: 10.1021/es400372u.

RAMONS

Recherche et animation : mobilisation des savoirs, structuration interdisciplinaire des connaissances et interfaçage science-société

Porteur Jean Paul Vanderlinden, REEDS
Contacts jean-paul.vanderlinden@uvsq.fr
Période avril 2008 - décembre 2011
Thèse Reflexive interdisciplinarity - Supporting dialogue on the role of science for climate change.
 Anne Blanchard.
 Soutenue le 21 décembre 2011.

Laboratoires impliqués

Labo GIS: REEDS

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/ramons>

RÉSULTATS MAJEURS

La principale conclusion de ce projet de recherche est que la réflexivité semble importante pour la mise en œuvre d'une recherche interdisciplinaire "authentique" sur le changement climatique. Cependant, comme l'interdisciplinarité, la réflexivité est un processus d'apprentissage à long terme, qui représente un investissement en temps et en énergie. Le projet met en avant que l'organisation actuelle de la recherche en Europe, suivant les principes de gestion, d'efficacité, de prestige, de concurrence et de hiérarchie, semble mal adapté à la mise en place d'une science interdisciplinaire et réflexive.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet européen FP7 **EUCLEIA**
 2014-2016

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Blanchard, A., & Vanderlinden, J.-P., 2013, **Prerequisites to interdisciplinary research for climate change: lessons from a participatory action research process in Île-de-France**, *International Journal of Sustainable Development*, 16(1-2), 1-22

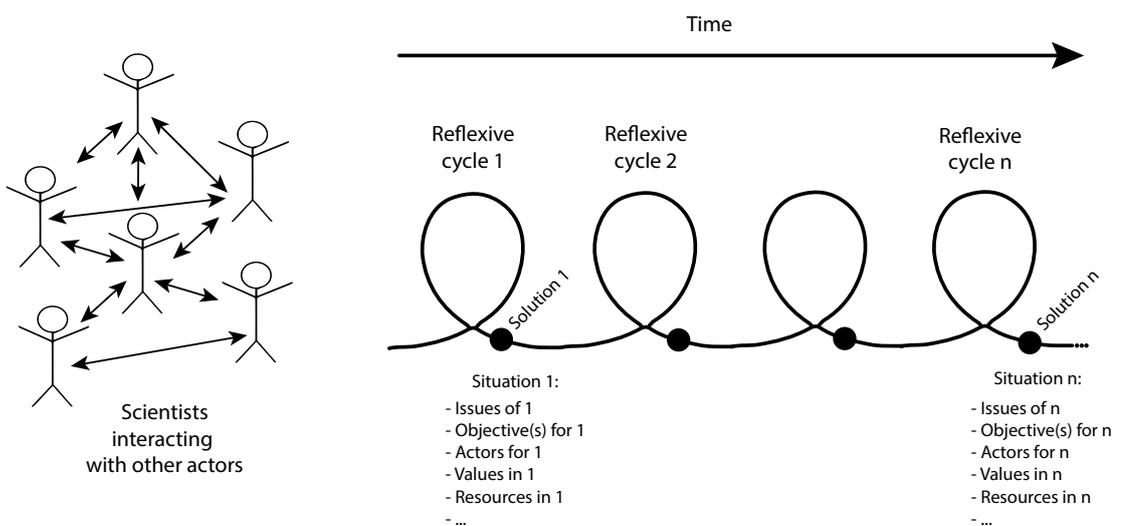
Blanchard, A., & Vanderlinden, J.-P., 2012, **Interdisciplinarité et outils réflexifs : vers une approche globale des trames vertes urbaines**, *Vertigo*, Special issue 12.

Blanchard, A., & Vanderlinden, J.-P., 2010, **Dissipating the fuzziness around interdisciplinarity: the case of climate change research**, *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society (S.A.P.I.EN.S)*,3(1).

OBJECTIFS

Le projet RAMONS visait à analyser les méthodes de travail de chercheurs impliqués dans des recherches interdisciplinaires sur le changement climatique et ses impacts, et à proposer, tester, et analyser des pratiques alternatives destinées à améliorer ces méthodes. A terme, les enseignements tirés de ces travaux devaient permettre de dynamiser le potentiel scientifique de la recherche interdisciplinaire sur le climat en mettant à disposition des acteurs de cette recherche des outils destinés à augmenter leurs synergies et à augmenter l'arrimage à la société de leurs activités de production de savoirs.

FIGURE CLÉ



Porteur Benjamin Sultan, LOCEAN
Contacts benjamin.sultan@locean-ipsl.upmc.fr
Période janvier 2008 - décembre 2011
Laboratoires impliqués
 Labo GIS : LSCE, LMD, LOCEAN, CIRED, LADYSS
 Labo. Hors GIS : Laboratoire des mécanismes et transferts en géologie (LMTG)
 Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)
 Centre régional Aghrymet
Site internet
<http://www.gisclimat.fr/projet/regyna>

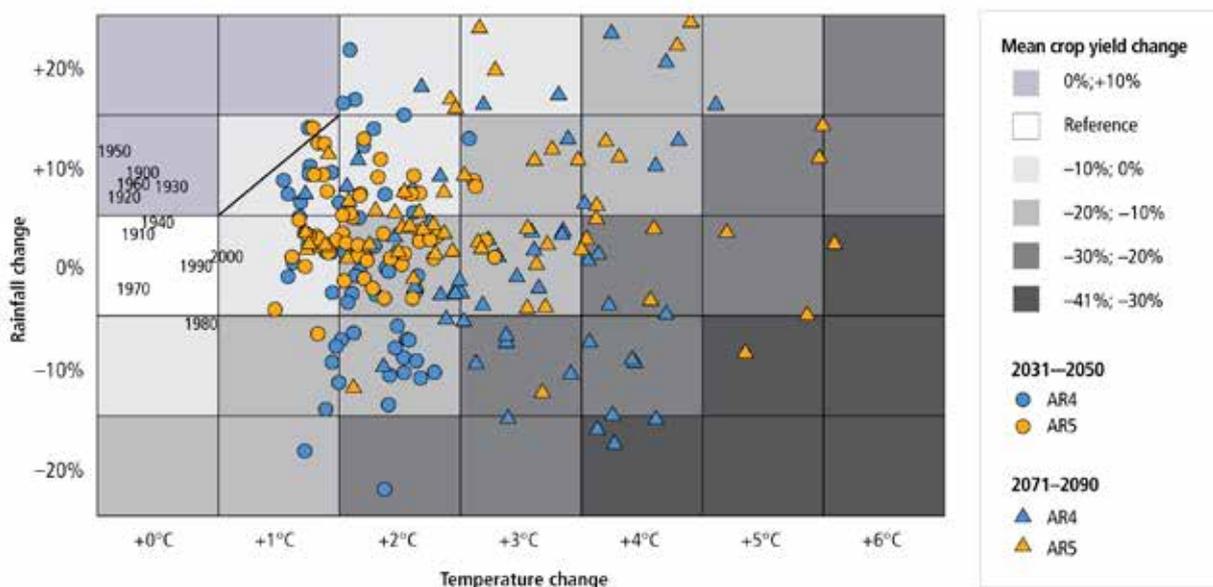
RÉSULTATS MAJEURS

Le projet REGYNA a contribué à identifier les impacts hydrologiques et agronomiques du changement climatique dans trois régions vulnérables : la région méditerranéenne, l'Afrique de l'Ouest et les bassins de la Plata et du sud de l'Amazonie. Malgré l'incertitude, des baisses de productivité agricole, des changements des régimes hydrologiques et de la disponibilité des ressources en eau sont à prévoir pour les trois régions. En outre, le projet a permis le développement d'une méthodologie générique et évolutive de régionalisation des simulations de changement climatique. Générique car l'effort a porté sur trois régions très différentes en terme de variabilité climatique (alors que l'Afrique sahélienne connaît une forte sécheresse depuis la fin des années 1960, les pluies ont augmenté depuis cette date en Amérique du Sud tropicale et subtropicale) et de scénarios d'évolution pour le futur (les modèles s'accordent sur un assèchement du bassin méditerranéen dans le contexte du changement climatique alors que les projections sur le futur divergent pour l'Afrique de l'Ouest). Évolutive car elle a permis d'établir une métrique pour classer les différents modèles en fonction de leur biais sur l'actuel et le futur, qui pourrait servir à l'évaluation d'autres simulations non traitées dans le cadre de REGYNA. Les résultats du projet REGYNA ont été cités à plusieurs reprises dans le dernier rapport du GIEC.

OBJECTIFS

Les impacts à court terme du changement climatique seront certainement les plus importants dans les régions tropicales et subtropicales particulièrement vulnérables aux aléas climatiques. Or, actuellement, il existe une incertitude considérable dans l'évaluation de ces impacts. Le projet REGYNA visait, d'une part à identifier les différentes sources de cette incertitude afin d'améliorer l'évaluation des impacts hydrologiques et agronomiques à court terme et, d'autre part, à étudier les conséquences sociétales de ces impacts dans trois régions vulnérables : la région méditerranéenne, l'Afrique de l'Ouest et les bassins de la Plata et du sud de l'Amazonie.

FIGURE CLÉ



L'effet des changements de températures et de précipitations sur le rendement moyen. Changement relatif de rendement (%) par rapport à la période de référence 1961-1990 pour sept scénarios de températures (abscisses) et cinq scénarios de pluies (ordonnées). Les résultats sont montrés en moyenne pour 35 stations d'Afrique de l'Ouest et six variétés de sorgho et de mil. Les triangles et cercles bleus représentent les changements futurs projetés par plusieurs GCMs de CMIP3 et trois scénarios du GIEC (B1, A1B, A2) respectivement pour les périodes 2071-2090 et 2031-2050. Les projections des modèles de CMIP5 et de trois scénarios RCP (4.5, 6.0 et 8.5) sont représentées par des triangles et des cercles orange. Les anomalies de températures et de précipitations observées depuis le début du siècle à partir des données CRU sont aussi projetées par décades (« 1940 » sur le graphique signifie l'anomalie 1941-1950 par rapport à 1961-1990). Tous les changements de rendements sont significatifs au niveau de confiance 5 % sauf la case marquée d'une diagonale.
 © IPCC (2014), Chapitre 22 Fig 22-7.



© OHM/CNRS Photothèque / Axel Ducourneau.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

Le projet REGYNA a permis la mise en œuvre d'un travail pluridisciplinaire entre des climatologues, des statisticiens, des agronomes et hydrologues ainsi que des géographes et sociologues. Un dialogue entre les disciplines a été engagé et s'est poursuivi après la fin du projet REGYNA dans d'autres projets.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet ANR CEP&S 2010 **ESCAPE** (Environmental and societal changes in Africa, past, present and future).

2011-2015 - Coordinateur : B. Sultan, LOCEAN.

Site web : <https://skyros.locean-ipsl.upmc.fr/~ESCAPE/>

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Berg A., B. Sultan, N. De Noblet, 2010a, Including **Tropical Croplands in a Terrestrial Biosphere Model: Application to West Africa**, *Climatic Change*, DOI: 10.1007/s10584-010-9874-x, Online First.

Berg A., B. Sultan, N. De Noblet, 2010b, **What are the dominant features of rainfall leading to realistic large-scale crop yield simulations in West Africa?**, *Geophysical Research Letters*, 37, doi:10.1029/2009GL041923.

Berg A., de Noblet-Ducoudré N., Sultan B., Lengaigne M. and M. Guimberteau, 2012, **Projections of climate change impacts on potential crop productivity over tropical regions**, *Agricultural and Forest Meteorology*, 15, 89-102.

Cohen M., Alonso M., Garcin H., Ronchail J., 2011, **Adaptación al cambio climático de la oleicultura irrigada de sierra**, 2011, publication électronique 8 p., VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua, Área temática 4, Cambio climático y fenómenos extremos, Talavera de la Reina (Toledo), 16-19 février 2011.

Espinoza J.C, Lengaigne M., Ronchail J., Janicot S., 2011a, **Large-scale circulation patterns and related rainfall in the Amazon Basin: a Neuronal Networks approach**, *Clim Dyn*, DOI 10.1007/s00382-011-1010-8.

Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, C. Junquas, P. Vauchel, W. Lavado, G. Drapeau, and R. Pombosa, 2011b, **Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the**

exceptional 2010 drought, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L13406, doi:10.1029/2011GL047862.

Gueye A.K., Janicot S., Niang A., Swadogo S., Sultan B., Diongue-Niang A. And Thiria S., 2010, **Weather regimes over Senegal during the summer monsoon season with Self-Organizing Maps. Part I: Synoptic time scale**, *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-010-0782-6, Online First.

Kallache M., M. Vrac, P. Naveau, P.-A. Michelangeli, 2011, **Non-stationary probabilistic downscaling of extreme precipitation**, *J. Geophys. Res. - Atmospheres*, Vol. 116, D05113, doi:10.1029/2010JD014892.

Leblois, A. and P. Quirion, 2011a, **Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research agenda**, *Meteorological Applications*, DOI: 10.1002/met.303

A. Leblois, P. Quirion, A. Alhassane, S. Traoré, 2013, **Weather Index Drought Insurance: An Ex Ante Evaluation for Millet Growers in Niger**, *Environmental and Resource Economics*, DOI 10.1007/s10640-013-9641-3.

Oettli P., Sultan B., Baron C., Vrac M., 2011, **Are regional climate models relevant for crop yield prediction in West Africa?**, *Environmental Research Letter*, 6, 014008.

Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., Berg, A., 2011a, **The impact of future climate change on West African agriculture : what does the recent literature say ?**, *Global Environmental Change* 21: 1073-1083.

H. Rust, M. Vrac, B. Sultan, M. Lengaigne, 2012, **Quantifying Differences in Circulation Patterns Based on Probabilistic Models: IPCC AR4 Multimodel Comparison for the North Atlantic**, *Journal of Climate*; 23(24) : 6573-6589 ; Décembre 2010

Traoré, S. B., Alhassane, A., Muller, B., Kouressy, M., Somé, L., Sultan, B., Oettli, P., Siéné L., Ambroise C., Sangaré, S., Vaksman, M., Diop, M., Dingkhun, M., Baron, C., 2010, **Characterizing and modeling the diversity of cropping situations under climatic constraints in West Africa**, *Atmospheric Science Letter*, 1530-261X, <http://dx.doi.org/10.1002/asl.295>, 10.1002/asl.295.

Vrac M., P. Yiou, 2010, **Weather regimes designed for local precipitation modelling: Application to the Mediterranean basin**, *J. Geophys. Res. - Atmospheres*, 115, D12103, doi:10.1029/2009JD012871.

Willems P., Vrac M., 2011, **Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change**, *Journal of Hydrology*, 402, 193-205, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.03.

Ronchail J., Cohen M., Alonso-Roldan M., Garcin H., Sultan B., S. Angles, 2014, **Adaptability of Mediterranean agro systems to climate change. The example of the Sierra Mágina olive growing region (Andalusia, Spain), Part II: The future**, *Weather, Climate and Society*, accepté.

Sultan B., Roudier P., Baron C., Quirion P., Muller B., Alhassane A., Ciais P., Guimberteau M., Traoré S.B., M. Dingkuhn, 2013, **Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in West Africa**, *Environmental Research Letter*, 8 014040 doi:10.1088/1748-9326/8/1/014040.

Guimberteau M., Ronchail J., Espinoza J.C., Lengaigne M., Sultan B., Polcher J., Drapeau G., Guyot J.-L., Ducharme A., P. Ciais, 2013, **Future changes in precipitation and impacts on extreme streamflow over Amazonian sub-basins**, *Environmental Research Letter*, 8 014035 doi:10.1088/1748-9326/8/1/014035.

Cohen M., Ronchail J., Alonso-Roldan M., Morcel C., angles S., Araque Jimenez E. et D. Labat, 2013, **Adaptability of Mediterranean agro systems to climate change. The example of the Sierra Mágina olive growing region (Andalusia, Spain) Part I: Past and present**, *Climate and Society*, *Wea. Climate Soc.*, 6, 380-398 doi: <http://dx.doi.org/10.1175/WCAS-D-12-00043.1>

RENASEC

Étude des caractéristiques et de la fréquence des événements extrêmes en France depuis 1500

Porteur Emmanuel Garnier, LSCE (en 2008)
Contacts emmanuel.garnier@univ-lr.fr
Période novembre 2008-janvier 2012
Thèse Le temps des saisons - Climat, événements extrêmes et sociétés dans l'ouest de la France (XVI^{ème}-XIX^{ème} siècles).
Jérémy Desarthe.
Thèse soutenue le 3 décembre 2011.

Laboratoires impliqués

Labo GIS : CIREN, LSCE.
Labo. Hors GIS : Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement et la Société (CERES-ERTI)
Collège de France
Centre de Recherche d'Histoire Quantitative (CRHQ)

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/renasec>

Ce projet a bénéficié d'un financement de l'ADEME.

OBJECTIFS

Des historiens, climatologues et économistes se proposaient :

- de recenser et de caractériser l'ensemble des événements météorologiques extrêmes ayant touché la France depuis 1500, et plus particulièrement dans cinq régions représentatives des grands types d'extrêmes climatiques : Grand Ouest, Est, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Île-de-France dans le but de déterminer si les phénomènes extrêmes ont évolué en amplitude et en fréquence avec le changement climatique actuel ;
- de modéliser l'impact de ces événements extrêmes sur les économies et les sociétés contemporaines.

RÉSULTATS MAJEURS

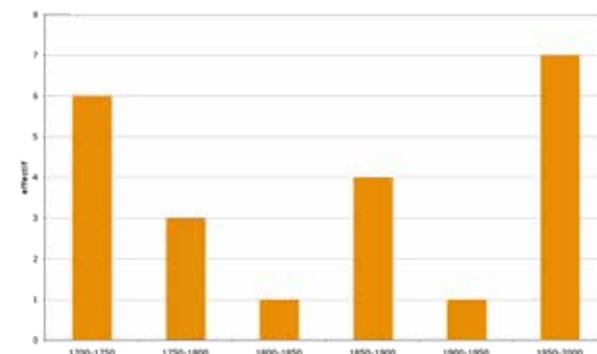
Les cinq cents ans étudiés révèlent une chronologie faite de mouvements contradictoires marqués successivement par des offensives et des rémissions. Des reconstructions ont été effectuées en termes de fréquence et de sévérité dans le cas des tempêtes continentales, des submersions, des inondations ou encore de sécheresses.

Les nombreuses informations recueillies durant trois ans dans les fonds d'archives ont été regroupées dans la base de données HISTCLIM. (<http://www.unicaen.fr/histclime/recherche.php>). Référencée par l'ONERC, elle permet d'analyser en détail les événements climatiques extrêmes.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

RENASEC a permis de mettre en place un dialogue entre l'histoire, l'économie et la climatologie. En effet, il s'agissait d'exploiter des données majoritairement textuelles (donc qualitatives) pour les convertir en données quantitatives susceptibles d'être comparées à des données climatiques actuelles ou bien homogénéisées dans des séries récentes.

FIGURE CLÉ



Tempêtes de submersion sur les littoraux de l'Atlantique.

Source : projet RENASEC.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet financé par le Ministère de l'Écologie et le CNRS **CLIMURBS** (Climat et espaces urbains XVI^{ème} - début XX^{ème} siècle. Étude des impacts climatiques et des formes de résilience en milieux urbains dans l'histoire). 2008-2012 - Coordinateur : E. Garnier.
Site web : <http://www.pirve.fr/en/project/16/>.

Projet ANR **CHEDAR** (Climate Health and Environment, data rescue and modelling). 2010-2014 - Coordinateur : P. Yiou, LSCE.

Projet financé par la Fondation de France **VULNERARE** (Trajectoires de vulnérabilité des littoraux de la Réunion aux risques naturels : renseigner le passé pour informer le futur). 2012-2014 - Coordinateur : A. Magnan, IDDRI.

Projet européen FP7 **DROUGHT** (Vulnerability and increased drought risk in Europe). 2011-2014 - Coordinateur : E. Garnier.
Site web : <http://www.eu-drought.org/>

Projet **HEALTH** (Historic extremes and health). 2012-2014 - Coordinateur : E. Garnier.

Projet européen FP7 **RISC-KIT** (Resilience - increasing strategies for coasts – toolKIT). 2013-2016 - Coordinateur : A. van Dongeren, Stichting Deltares.
Site web : <http://www.riskit.eu/np4/home.html>

Projet de l'Université de Genève avec le soutien financier du Fonds national suisse de la recherche **Pump priming a historical database of extreme natural events in Lake Geneva region**. 2014-2015 - Co-coordonateur : E. Garnier, LIENSs.

Projet financé par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire **Extrêmes historiques et risque nucléaire contemporain**. 2015-2018 - Coordinateur : E. Garnier, LIENSs.

Base de données **HISTCLIME** (Histoire des sociétés et des territoires face au climat et aux événements extrêmes) mise en ligne en octobre 2012 par le Centre de recherche d'histoire quantitative et composée de plus de 10 000 données textuelles et instrumentales françaises. HISTCLIME est le résultat de près de dix années de recherches en histoire climatique financées par les projets transdisciplinaires européens, nationaux et du GIS Climat Environnement Société.
Site web : <http://www.unicaen.fr/histclime/index.php>

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Le temps des saisons - Climat, événements extrêmes et sociétés dans l'ouest de la France (XVI^{ème}-XIX^{ème} siècles).

Thèse de doctorat soutenue par J. Desarthe en décembre 2011.
Hermann Editions, Collection : Météo, ISBN : 978-2-7056-8770-0

Fruit de différents projets scientifiques, dont RENASEC, cet ouvrage retrace quatre cents ans de fluctuations climatiques et d'événements extrêmes dans l'ouest de la France. Par leur intensité et leur durée, ces phénomènes sont capables d'altérer durablement le fonctionnement des sociétés qui y sont confrontées. Loin de se résigner, les populations ont su faire face et s'adapter en mettant en œuvre différentes mesures pour faire face aux risques. Au-delà de l'étude des interactions entre le climat, ses manifestations les plus extrêmes et les sociétés, l'ouvrage s'intéresse également à la perception de ces phénomènes par les contemporains.

E. Garnier, 2012, **Histoire des tempêtes**, Risque - Les cahiers de l'assurance.

Ce travail tente de prouver l'intérêt, pour l'assureur, d'une approche historique consacrée aux tempêtes et aux cyclones entre 1500 et nos jours. Les exemples de la France, de l'Europe et de l'océan Indien montrent que ces événements extrêmes sont en réalité des facteurs de permanence historique et que les archives peuvent être très utiles pour estimer leur sévérité. Dans cette perspective, une simulation du coût actuel de la tempête atlantique de mars 1937 est réalisée. Elle révèle que les sociétés littorales de cette époque étaient nettement plus résilientes. Enfin, l'étude prouve que, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la vulnérabilité a augmenté plus rapidement que l'aléa tempête, notamment depuis les années 1990, avec l'urbanisation croissante des littoraux.

Desarthe, J., 2011, **La nature en colère, les événements climatiques extrêmes dans la région d'Alençon (fin XVII^{ème}-début XX^{ème} siècle)**, Bulletin de la Société Historique et Archéologique de l'Orne.

Ce papier propose une reconstruction longue (trois siècles) des extrêmes du type inondations, sécheresses et tempêtes ayant affecté le département de l'Orne, en Basse-Normandie. Il met également en valeur les secteurs géographiques impactés à l'époque sous la forme d'une cartographie du risque et des vulnérabilités.

Garnier, E., 2011, **Climat de la France : apport de l'histoire**, in Jeandel, C. et Mossery, R.(dir.), *Le climat à découvert. Outils et méthodes en recherche climatique*, Paris, CNRS Editions, p. 111-113.

Cette contribution présente les sources historiques disponibles (archives, témoignages picturaux, presse, etc) à la disposition de l'historien pour étudier les climats du passé. Dans un second temps, il privilégie les reconstructions historiques des événements extrêmes en France et en Europe.

Gras, M.-C., 2011, **Les processions en l'honneur de sainte Geneviève à Paris, miroir d'une société (XVI^{ème}-XVIII^{ème} siècles)**, Revue d'histoire urbaine, n°32, décembre 2011, p. 5-30

Les processions en l'honneur de sainte Geneviève furent régulièrement organisées contre les événements climatiques extrêmes. Au-delà, elles révèlent les mentalités et les vulnérabilités d'une société urbaine confrontée à l'adversité climatique.

Hiram, H., 2011, **Les cérémonies religieuses face à la météorologie. Enjeux paléoclimatiques et rôle social : le cas de Salamanque au XVII^{ème} siècle**, Revue d'histoire urbaine, n°32, décembre 2011, p. 31-52

L'étude se concentre sur les processions météorologiques (rogativas) espagnoles à travers l'exemple de la ville de Salamanque au XVII^{ème} siècle. Outre l'opportunité d'étudier les fluctuations climatiques du Petit Âge Glaciaire ibérique, elle autorise une approche fine des enjeux et des pratiques religieuses liés au risque climatique.

Garnier, E., et al., 2011, **Grapevine harvest dates in Besançon between 1525 and 1847 : Social outcome or climatic evidence ?**, Climatic Change, 2011, n°104, p. 703-727.

Ce travail transdisciplinaire présente une série inédite de bans de vendanges de Besançon entre 1525 et 1846. Pour y parvenir, le choix a été fait de contextualiser la série phénologique en la croisant avec d'autres informations historiques (conflits, épidémies, changement de goût et de cépages) afin d'éliminer les dates de vendanges non météorologiques. Enfin, la série « dépolluée » a été comparée avec des séries régionales (Bourgogne, Allemagne et Suisse).

Garnier, E., 2010, **De la mémoire des catastrophes dans nos sociétés modernes : Lothar-Martin (déc. 1999) et les tempêtes des siècles**, Cités (Philosophie, Politique, Histoire), Hors-série 10^{ème} anniversaire, PUF, p. 381-390.

A partir d'exemples historiques et contemporains (Lothar et Xynthia), cette contribution tente d'interpréter le discours sur les catastrophes climatiques au cours des cinq cents dernières années. Alors que l'on ne cesse d'affirmer, depuis une décennie, le caractère inédit de ces catastrophes, l'éclairage montre, au contraire, que les sociétés anciennes connurent aussi de tels désastres et soutinrent déjà qu'il s'agissait d'événements exceptionnels.

Garnier, E., 2010, **Fausse science ou nouvelle frontière ? Le climat dans son histoire**, Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine, dossier thématique « climat et histoire, XVI^{ème} - XIX^{ème} siècles », n°57-3, juillet-septembre 2010, p. 7- 41.

Ce volume spécial propose de faire un état de l'art de l'histoire du climat en Europe alors qu'aucune contribution de ce type n'existe en France. Après une mise en perspective des enjeux méthodologiques et disciplinaires de la question, il propose différentes contributions concrètes à l'échelle de l'Europe (France, Allemagne, Grande-Bretagne, Italie, Espagne).

Garcia de Cortazar-Atauri, I., et al., 2010, **Climate reconstructions from grape harvest dates : methodology and uncertainties**, The Holocene, vol. 20, n° 4, p. 599-608.

Ce travail étudie et évalue la pertinence des dates de bans de vendanges comme proxy data des

anomalies de températures. L'approche est fondée sur plusieurs séries de dates de bans de vendanges. Il souligne surtout l'importance des informations historiques comme les types de cépage, les pratiques culturelles et le contexte géopolitique pour appréhender et rendre plus robustes les modèles existants.

Garnier, E., 2010, **Bassesses extraordinaires et grandes chaleurs. Cinq cents ans de sécheresses et de chaleurs en France et dans les pays limitrophes**, La Houille Blanche, n° 4, p. 26-42.

Fondée sur l'étude de nombreux fonds d'archives français et européens (Allemagne, Espagne, Italie, Grande-Bretagne), l'étude reconstruit des séries de sécheresses européennes et les compare. Dans un second temps, elle s'intéresse aux réactions des sociétés et aux stratégies qu'elles développeront pour tenter d'y faire face.

La tempête Xynthia face à l'histoire - Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours, E. Garnier et F. Surville (dir), Editions Le Croit Vif ; Octobre 2010

Un groupe de scientifiques et d'historiens a remis un rapport aux commissions parlementaire et sénatoriale constituées au lendemain du passage de la tempête Xynthia qui a ravagé le littoral atlantique fin février 2010. Ce livre met en perspective la tempête Xynthia et apporte un éclairage indispensable aux réflexions à chaud concernant cette catastrophe.

J. Desarthe, 2010, **Duhamel du Monceau, météorologue**, Revue d'histoire moderne et contemporaine 3/2010 (n° 57-3), p. 70-91.

Savant connu et reconnu pour ses apports à l'agriculture du siècle des Lumières, Duhamel du Monceau fait également figure de pionnier en météorologie. Pendant quarante ans, il a réalisé de nombreuses observations botanico-météorologiques qui offrent aujourd'hui une opportunité archivistique exceptionnelle pour l'histoire du climat. Elles autorisent une restitution fine de la variabilité du climat beauceron pour la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle. De plus, son parcours au sein de l'Académie royale des sciences révèle les différents réseaux nationaux et européens qui l'ont amené à intégrer les facteurs climatiques dans ses travaux scientifiques.

Pfister et al., 2010, **The meteorological framework and the cultural memory of three severe winter-storms in early eighteenth-century Europe**, Climatic Change, Special Issue: European Climate of the Past 500 Years Based on Documentary and Instrumental Data, 101 : 281-310.

Dans cette publication, issue en partie des travaux du projet RENASEC, trois violentes tempêtes ayant touché respectivement la région de la Mer du Nord, l'Europe Centrale et le Portugal au XVIII^{ème} siècle, sont étudiées selon plusieurs angles : les points de vue météorologiques, les impacts socio-économiques, et l'ancrage dans la mémoire culturelle.

Camuffo et al., 2010, **500-year temperature reconstruction in the Mediterranean Basin by means of documentary data and instrumental observations**, Climatic Change, Special Issue: European Climate of the Past 500 Years Based on Documentary and Instrumental Data, 101 : 169-199.

Le projet européen Millenium aujourd'hui achevé visait à déterminer si les changements climatiques actuels dépassent la variabilité naturelle du climat européen, observée au cours de ce dernier millénaire. Cet article présente les principaux résultats du projet pour la région Méditerranéenne, obtenus par la combinaison de ressources documentaires et de mesures instrumentales. Les données françaises ont été fournies dans le cadre des projets RENASEC et OPHELIE.

Climat et révolutions. Autour du Journal du négociant rochelais Jacob Lambert (1733-1813), ouvrage collectif, sous la direction d'E. Garnier et de F. Surville, Le Croit Vif, Saintes, 2010.

Les dérangements du temps, cinq cents ans de chaud et froids en Europe, E.Garnier, Éditions Plon, janvier 2010.

Prix Gustave Chaix d'Est Ange de l'Académie des Sciences Morales et Politiques (Institut de France) et Risques 2010 La Tribune/BFM radio.

La certitude de nos contemporains de vivre un « changement » climatique ne date pas d'aujourd'hui. Tiré d'archives inédites, cet ouvrage présente une autre réalité des fluctuations climatiques et des perceptions que les Européens en ont eu au cours de cinq cents dernières années.

Camuffo, D., et al., 2010, **The earliest daily barometric pressure readings in Italy : Pisa, 1657 - 1658 and Modena, 1694 and the circulation index over Europe, 1694**, The Holocene, vol. 20, p. 337-349.

La recherche exploite les plus anciennes séries barométriques européennes connues en Italie (Pise, Modène), en Angleterre (Oxford) et en France (Observatoire de Paris) après les avoir corrigées et ajustées à des modèles actuels. Ces données homogénéisées ont permis de recréer la situation atmosphérique de l'année 1694.

Garnier, E., 2009, **Histoire du climat et enjeux géostratégiques**, Actes du colloque international "Les conséquences géostratégiques du réchauffement climatique" du 9 avril 2009 (École de Guerre), Les cahiers de Mars, n° 200, p. 29-35.

Le papier démontre l'impact qu'eurent les grandes fluctuations climatiques et les événements extrêmes du dernier millénaire sur les plans géostratégiques et économiques. Plus précisément, différents exemples historiques mettent en lumière leur rôle dans le déclin de certaines entités politiques, les défaites militaires ou encore dans l'apparition de mouvements sociaux ayant parfois abouti à des révolutions.

Brazdil et coll., 2009, **European floods during the winter 1783-1784: scenarios of an extreme event during the "Little Ice Age"**, Theoretical and Applied Climatology.

Cette publication basée, entre autres, sur les travaux du projet RENASEC, aborde les séries de fortes inondations qui ont touchées l'Europe au cours de l'hiver 1783-1784. En cause, une période très froide suivie d'un réchauffement brutal associé à de fortes précipitations.

RISC UV - EXPO UV

Impact du changement climatique sur le rayonnement ultra-violet

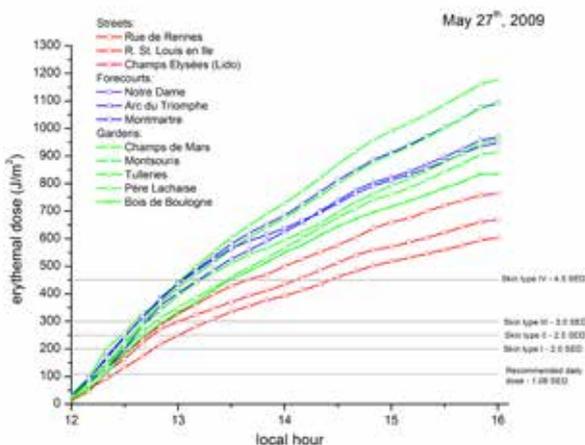
| | |
|-------------------------------|---|
| Porteur | Sophie Godin-Beekmann, LATMOS Emmanuel Mahé, PIFO |
| Contacts | sophie.godin-beekmann@latmos.ipsl.fr emmanuel.mahé@ch-argenteuil.fr |
| Période | mars 2008 - février 2010 |
| Laboratoires impliqués | |
| Labo GIS : | IPSL, LATMOS, PIFO |
| Labo hors GIS : | Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA) Centre national de recherches météorologiques (CNRM) |
| Site internet | |
| | http://www.gisclimat.fr/projet/risc-uv |

OBJECTIFS

Le projet RISC-UV visait à déterminer s'il existait un lien entre l'augmentation observée de l'incidence des cancers cutanés et les variations du rayonnement UV causées par les modifications chimiques de l'atmosphère, et à évaluer la part relative des facteurs comportementaux et environnementaux dans l'augmentation des cancers cutanés.

Dans le prolongement du projet RISC UV, l'objectif du projet EXPO-UV était de développer un modèle multidimensionnel intégrant notamment les types de comportements d'exposition et de prévention aux UV, les paramètres climatiques (notion d'indice de confort) et les changements climatiques afin d'optimiser les campagnes de prévention solaire en s'appuyant sur une méthodologie de "gestion de risques".

FIGURE CLÉ



Évolution de la dose érythémateuse reçue dans différents sites parisiens le 27 mai 2009 en conditions ensoleillées.
Source : campagne RISC UV .

RÉSULTATS MAJEURS

RISC-UV

Le projet RISC-UV, réalisé en collaboration entre les physiciens de l'atmosphère de l'IPSL (LATMOS et SIRTa) et des médecins de l'unité l'EA4339 « Peau, environnement cancer » de PIFO – UVSQ s'est décliné en trois axes avec (1) l'organisation de deux colloques réunissant des physiciens de l'atmosphère, des dermatologues, des épidémiologistes et des acteurs de santé publique (InVS, AFSSAPS, CIRC, DGS), (2) la réalisation de campagnes de mesures destinées à évaluer les différents types d'instruments mesurant l'indice UV, du dosimètre personnel à l'instrument satellitaire et (3) l'évaluation de l'exposition au rayonnement UV dans différents environnements géographiques et lors d'activités sportives ou touristiques. Parmi les principaux résultats du projet, les campagnes ont mis en évidence la dispersion des mesures de l'indice UV : certains capteurs commerciaux vendus en grande surface surestiment l'indice UV d'un facteur 2 à 3 (Correa et al. 2010) tandis que certaines mesures satellitaires sous-estiment l'indice UV et/ou ne prennent pas correctement en compte l'effet des nuages. Le projet a également montré que le rayonnement UV reçu au sol n'est atténué significativement qu'à partir d'une couverture nuageuse supérieure à 70 %, certains types de nuages fractionnés pouvant même jouer un rôle amplificateur du rayonnement UV (Jégou et al., 2011). L'évaluation de la dose d'UV nécessaire à la synthèse de la vitamine D à partir des mesures de rayonnement UV a montré qu'en région parisienne en automne, la durée d'exposition au rayonnement UV nécessaire pour cette synthèse était supérieure à la durée d'exposition susceptible d'induire un érythème chez les phototypes clairs. En mai et juin 2009, une campagne de mesure de l'indice UV organisée avec des volontaires en différents lieux touristiques de Paris a permis d'évaluer les différences d'exposition suivant la configuration du lieu. Des écarts d'indice UV d'environ 40 % ont été relevés entre les mesures obtenues sur des parvis, dans les rues ou dans les jardins, qui se sont traduits par des différences de plus de 50 % sur la dose érythémateuse cumulée après 4 heures d'exposition et des variations de 20 à 45 mn de la durée d'exposition nécessaire à l'apparition d'un érythème chez les personnes de phototype clair. Ces écarts sont illustrés dans la Figure 1 qui représente les doses érythémateuses cumulées dans les différents environnements de Paris sondés le 27 mai 2009. L'étude a aussi montré que même à l'ombre, dans les jardins et parvis de Paris, les conditions d'apparition d'un érythème peuvent être réunies pour ces personnes après 100 à 160 minutes d'exposition (Mahé et al., 2012).

EXPO - UV

Le GIS Climat a financé la réalisation d'un colloque qui a permis de mettre en présence les potentiels acteurs du projet et de créer de nouvelles collaborations. Le bilan de ce colloque, qui s'est tenu le 16 décembre 2010 à Paris, est disponible à l'adresse suivante : <http://www.gisclimat.fr/bilan-du-second-colloque-risc-uv>

En termes de prévention, plusieurs études pluridisciplinaires ont été menées qui ont permis un dialogue entre physiciens du climat, dermatologues, spécialistes de santé publique et responsables politiques. Les protocoles ont associé mesures physiques, évaluations des risques et études comportementales. Ainsi, la réduction de l'indice UV effectif de personnes situées à l'ombre a été mesurée, mettant en évidence que l'ombre

(notamment celle des bâtiments) est généralement un mauvais photo-protecteur, alors que les campagnes de prévention insistent sur son rôle. En outre, une étude sur l'exposition de jeunes footballeurs a permis de préciser la dose érythémateuse minimale (DEM, Dose minimale de rayonnement pour l'apparition d'un érythème) en fonction des phototypes : les joueurs à la peau claire peuvent ainsi dépasser dix fois la dose en une journée (Mahé et al., 2011). Une étude a également été conduite dans une école d'Antony qui a permis de conclure que les comportements de protection solaire sont inadaptés quels que soit les lieux fréquentés par les enfants. Ces différents travaux ont mis en évidence les lacunes des mesures de protections des enfants et des adultes par rapport au soleil, suggérant que le risque solaire et la prévention associée ne sont pas correctement pris en compte en Île de France. Bien que le risque solaire soit important entre les mois de mai et septembre, peu de campagnes et de moyens de prévention sont développés dans cette région, montrant ainsi les limites des messages de prévention.

DIMENSION INTERDISCIPLINAIRE

RISC-UV s'appuie sur la collaboration scientifique entre une communauté médicale concernée par les problèmes relatifs à l'exposition aux ultraviolets (médecins dermatologues et oncologues, épidémiologistes) et des physiciens de l'atmosphère s'intéressant à l'évolution du rayonnement solaire à la surface en réponse aux changements environnementaux.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Projet GIS Climat **EREBUS** (Évaluation des risques et bénéfices de l'exposition aux rayonnements ultra-violet).
2011-2013 - Porteur : S. Godin Beekmann

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

De Maleissye M.F., Beauchet A.Z., Mouhamad M., Saiag P., Mahé E., 2010, **Parents' attitudes related to melanocytic nevus count in children**, *European Journal of Cancer Prevention*, November 2010 - Volume 19 - Issue 6 - pp 472-477, doi: 10.1097/CEJ.0b013e32833eba4f.

Corrêa M.P., S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, C. Brogniez, F. Verschaeve, P. Saiag, A. Pazmiño and E. Mahé, 2010, **Comparison between UV index measurements performed by research-grade and consumer-products instruments**, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 9, 459 - 463, DOI: 10.1039/b9pp00179d.

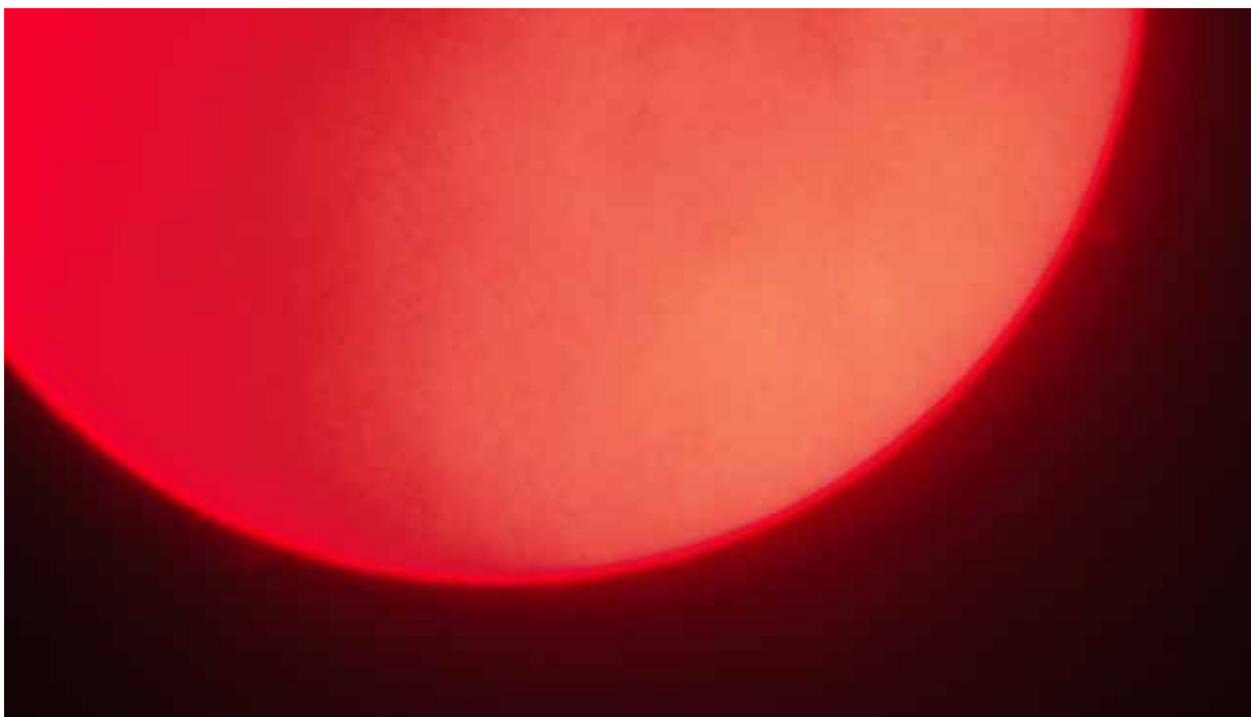
Comparaison des mesures d'index UV données par des instruments commerciaux avec celles d'un spectromètre de recherche Bentham. Les résultats montrent que très peu d'instruments commerciaux donnent une mesure correcte de l'indice UV.

Jégou, F.; Godin-Beekman, S.; Corrêa, M. P.; Brogniez, C.; aurioi, F.; Peuch, V. H.; Haeffelin, M.; Pazmino, A.; Saiag, P.; Goutail, F.; Mahé, E., **Validity of satellite measurements used for the monitoring of UV radiation risk on health**, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, p. 13377-13394, 2011.

Test de la validité des indices UV fournis par la modélisation et les mesures satellitaires à partir de comparaisons avec des mesures au sol obtenues à partir de spectroradiomètres et de radiomètres à bande large en 2008 et 2009. Les résultats indiquent que les mesures satellitaires testées (provenant de SCIAMACHY, GOME-2 et OMI) fournissent généralement des indices UV proches des mesures sol mais que des biais apparaissent en cas de couvertures nuageuse. Les résultats du modèle de Météo-France MOCAGE sont également proches des mesures sol par ciel clair mais le modèle est moins performant lorsque le ciel est couvert.

Mahé E., M.P. Correa, S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, F. Jégou, P. Saiag, A. Beauchet, 2012, **Evaluation of tourists' UV exposure in Paris**, *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, DOI: 10.1111/j.1468-3083.2012.04637.x, 2012

We evaluated erythematous UV exposure, during four sunny days in May-June in eight Paris touristic sites during peak hours (2 days), and during two walks in touristic downtown of Paris. Measures were performed in sun and shade. UV radiation exposure was evaluated with UV index performed with a 'Solarmeter ultraviolet index (UVI)' and UV dose with 'standard erythema dose' (SED) and 'minimal erythema dose' (MED) calculations. Despite 'average' UVI in sunny conditions, a 4-h sun exposure reaches 13-20 SED and 3-10 MED according to phototype. Clouds were inefficient to protect against UV. Shade of places reduces moderately UVI (50-60%) in forecourts. Exposure during 1-h walk reach at least one MED in real life conditions for skin phototypes I-IV. UV risk for tourist is quite high in spring in Paris. UVI remains high despite high cloud fraction. Shade reduces UVI, but UV protection factor is only 2-3 in large places such as Place Notre Dame and Place Charles de Gaulle. So sun protection campaigns should be proposed, and sun protective strategies could be integrated in urban planning.



Porteurs

Philippe Aegerter, PIFO
Philippe Saiag, PIFO

Contact

philippe.saiag@apr.aphp.fr

Période

janvier 2008 – décembre 2009

Laboratoires impliqués

Labo GIS : PIFO

Labo. Hors GIS :

Laboratoire de génétique et de biologie cellulaire
Laboratoire physiopathologie et diagnostic des infections microbiennes
Laboratoire de santé publique et épidémiologie des déterminants professionnels et sociaux de la santé
Laboratoire Mécanismes moléculaires et pharmacologiques de l'obstruction bronchique
Laboratoire Physiopathologie et pharmacologie clinique de la douleur
Laboratoire Santé et Vieillesse
Unité de pathologie cellulaire et génétique
Laboratoire physiopathologie des maladies oculaires – innovations thérapeutiques
Laboratoire de neuropsychologie cognitive et prise en charge des troubles de la communication schizophrénique
Laboratoire Peau, Environnement, Cancer
Laboratoire Étude de la réponse neuroendocrine au sepsis
Laboratoire Epidémiologie et oncogénèse des tumeurs digestives

Site internet

<http://www.gisclimat.fr/projet/sarces>

OBJECTIFS

Ce projet d'animation de la recherche avait pour objectif la mise en place d'une animation et d'un soutien à la recherche sur le thème « climat-environnement-santé » afin de structurer l'activité de recherche associée en Île-de-France, et de renforcer les collaborations entre les services cliniques de l'UFR PIFO, les équipes de santé publique, de physique, de climatologie... dans le but de faire émerger des projets interdisciplinaires pouvant être financés par le GIS Climat ou d'autres organismes.

RÉSULTATS MAJEURS

Plusieurs tâches ont été réalisées :

- rencontres avec les différentes équipes de recherche de l'UFR PIFO afin de cerner l'intérêt pour la thématique "santé, environnement et climat". Ces entretiens ont été restitués sous forme d'un document de synthèse ;
- mise en place de séminaires interdisciplinaires ;
- animation scientifique ;
- soutien méthodologique dans la réponse aux appels d'offres ;
- mise en relation avec des chercheurs de laboratoires extérieurs au GIS Climat ;
- collaboration et co-animation avec l'OSU de l'UVSQ.

Ces actions ont permis l'émergence de la thématique environnementale dans trois domaines : dermatologie, reproduction humaine, vieillissement.

PROJETS INDUITS / IMPLICATIONS

Structuration d'équipes maintenant labellisées (UMRS 1168 UVSQ/Inserm qui comporte une forte dimension environnementale).

Étude aap INCa SHSESP **MelaD** (étude de l'impact de l'exposition solaire et du statut vitaminique D sur le pronostic des mélanomes malins).
2009 - Porteur : P.Saiag.

Étude PHRC **Rieho** sur l'impact des facteurs individuels et environnementaux sur les hospitalisations non programmées des personnes âgées (cohorte actuellement en suivi sur Boulogne, Paris et Reims, collaboration pour étude ancillaire avec l'INVS).
2008 - Porteur : P.Aegerter

Notes

Annexes

Annexe n° 1

Les laboratoires du GIS Climat

CLIMAT



7 LABORATOIRES FÉDÉRÉS DANS L'INSTITUT PIERRE SIMON LAPLACE (IPSL)

L'IPSL étudie l'évolution du climat, de l'effet de serre et de la couche d'ozone, et s'intéresse à la pollution de l'air et des océans. Des actions fédératrices sont mises en place pour répondre à des priorités nationales : recherche sur le climat, impacts des activités humaines aux échelles régionales et locales, planétologie.



LABORATOIRE ATMOSPHÈRES, MILIEUX, OBSERVATIONS SPATIALES (LATMOS)

Les principaux thèmes de recherche du LATMOS concernent les processus physiques et chimiques dans l'atmosphère Terrestre (depuis la basse atmosphère, jusqu'à la stratosphère et la mésosphère) et les échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre (océan/continents), l'étude des planètes et petits corps du système solaire (atmosphères, surfaces, sous-surfaces), la physique de l'héliosphère, de l'exosphère des planètes, et des plasmas du système solaire.



LABORATOIRE INTER-UNIVERSITAIRE DES SYSTÈMES ATMOSPHÉRIQUES (LISA)

Les recherches du LISA, centrées sur la compréhension du fonctionnement des systèmes atmosphériques, s'articulent suivant deux grands axes : l'étude de la composition chimique gazeuse et particulaire de la troposphère terrestre en liaison avec les problèmes environnementaux (en particulier la pollution atmosphérique) ; la physicochimie organique d'environnements planétaires en relation avec le domaine de l'exo/astrobiologie.



LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE (LMD)

Le laboratoire s'intéresse aux mécanismes, à l'évolution et à la prévision des phénomènes météorologiques et du climat. Ses trois thématiques de recherche sont : l'étude de l'interaction entre les différentes composantes du système climatique ; la détection et la compréhension des évolutions et de la variabilité naturelle du climat, des échelles saisonnières aux échelles décennales ; l'étude des conséquences globales des activités humaines sur l'environnement.



LABORATOIRE D'OcéANOGRAPHIE ET DU CLIMAT : EXPÉRIMENTATION ET APPROCHES NUMÉRIQUES (LOCEAN)

Les recherches du LOCEAN tournent autour de trois thématiques : les processus dynamiques impliqués dans la circulation océanique, l'étude de la place de l'océan dans les mécanismes gouvernant l'évolution du système climatique terrestre, la prévisibilité climatique et le couplage entre dynamique océanique et cycles biogéochimiques.



LABORATOIRE DE PHYSIQUE MOLÉCULAIRE POUR L'ATMOSPHÈRE ET L'ASTROPHYSIQUE (LPMAA)

Le domaine de recherche du LPMAA est celui de la physique moléculaire appliqué à des thèmes de nature atmosphérique et astrophysique.



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT (LSCE)

Les travaux du LSCE sont concentrés sur trois axes de recherche : l'étude des mécanismes de la variabilité naturelle du climat à différentes échelles de temps et les interactions entre l'activité humaine, l'environnement et le climat ; l'étude des processus intervenant dans le cycle de composants clés tels que le carbone, les gaz à effet de serre et les aérosols qui interagissent avec le climat ; la géochronologie et l'analyse de géomarqueurs, basées sur une palette de techniques appliquées à l'étude passée et présente de la géosphère et de ses relations avec le climat.



LABORATOIRE MILIEUX ENVIRONNEMENTAUX, TRANSFERTS ET INTERACTIONS DANS LES HYDROSYSTÈMES ET LES SOLS (METIS)

Les travaux du laboratoire METIS se focalisent sur les cycles de l'eau et des éléments qu'elle transporte. Ils intègrent donc l'ensemble des processus qui contrôlent ces cycles, qu'ils soient hydrologiques, géologiques, atmosphériques, géochimiques ou biogéochimiques, dans une démarche interdisciplinaire.

SANTÉ



Les laboratoires de l'UFR médicale Paris Île-de-France Ouest (PIFO)

L'UFR regroupe une unité de recherche clinique et huit laboratoires dont les thématiques principales sont : l'épidémiologie, les cancers de la peau induits par l'environnement, les maladies de l'appareil respiratoire, les personnes âgées, les grossesses et la prématurité, les maladies mentales, les maladies métaboliques.

ÉCOLOGIE

IEES Paris

INSTITUT D'ÉCOLOGIE ET DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT DE PARIS (IEES)

IEES est une unité de recherche pluridisciplinaire qui ambitionne de développer l'analyse de la structure, du fonctionnement et de la dynamique des environnements et des écosystèmes continentaux, terrestres et aquatiques. Pour y parvenir, elle combine des approches physiques, chimiques et écologiques grâce aux expertises variées de ses membres.



LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE, SYSTÉMATIQUE ET ÉVOLUTION (ESE)

L'unité de recherche ESE concentre ses recherches sur l'écologie et l'évolution. Trois des quatre départements de cette unité étudient les effets du changement climatique et atmosphérique sur les écosystèmes semi-naturels et/ou les mécanismes modifiant les flux de gaz à effet de serre de ces écosystèmes.

SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES



CENTRE ALEXANDRE KOYRÉ

Le Centre Alexandre Koyré se consacre principalement aux périodes moderne et contemporaine, voire très contemporaine. Ses activités se déclinent selon les thèmes suivants : sciences dans l'espace public ; circulation comme lieu de production des savoirs ; corpus et archives en histoire des sciences ; environnement, climat et développement durable ; acteurs, institutions et gouvernance.



CENTRE D'ÉTUDES SUR LA MONDIALISATION, LES CONFLITS, LES TERRITOIRES ET LES VULNÉRABILITÉS (CEMOTEV)

CEMOTEV est une équipe d'accueil dont l'objectif est de renforcer les activités de recherche sur la diversité

et la complexité des échelles de décision, qui sont en particulier liées à la mondialisation.



CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT (CIRED)

Le CIRED étudie les tensions entre environnement, gestion à long terme des ressources naturelles et développement économique.



CENTRE DE RECHERCHES EN ÉCONOMIE-ÉCOLOGIE, ÉCO-INNOVATION ET INGÉNIERIE DU DÉVELOPPEMENT SOUTENABLE (REEDS)

Le domaine scientifique principal du laboratoire REEDS est la création et l'application de connaissances en économie écologique.



LABORATOIRE DYNAMIQUES SOCIALES ET RECOMPOSITION DES ESPACES (LADYSS)

Le LADYSS consacre ses travaux à l'étude des processus et formes actuels de recompositions sociales et spatiales en rapport avec la mondialisation et les problèmes d'environnement.



PÔLE DE RECHERCHE EN ÉCONOMIE ET GESTION DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE (PREG)

Les recherches menées au laboratoire d'économétrie se concentrent sur trois axes : les méthodes mathématiques (optimisation, théorie des jeux), l'économie publique (analyse du vote, économie normative, philosophie économique, économie de l'environnement, économie urbaine, économie internationale), et les entreprises et marchés (économie industrielle, théorie des organisations, prévention des risques et gestion des crises).



LABORATOIRE CULTURES, ENVIRONNEMENTS, ARCTIQUE, REPRÉSENTATIONS, CLIMAT (CEARC)

L'objectif du CEARC est de donner l'opportunité à un groupe de chercheurs d'origines disciplinaires diverses d'explorer comment chacune de ces disciplines peut contribuer à la co-construction d'un espace d'intégration des sciences naturelles, des sciences sociales et des sciences humaines dans l'analyse des dynamiques d'adaptation aux changements globaux en zones côtières, notamment arctique, ceci dans un objectif de transition vers la soutenabilité.

Annexe n°2

Les axes thématiques du GIS Climat

Extrêmes climatiques et régions vulnérables



Les changements climatiques globaux se traduisent par des modifications climatiques importantes au niveau régional, où les événements extrêmes sont fortement ressentis, particulièrement dans certaines régions vulnérables. Ces phénomènes peuvent se combiner avec des problèmes de pollution. Aujourd'hui, il apparaît donc nécessaire d'améliorer les outils de prévision du climat futur afin qu'ils offrent un niveau de détail permettant une bonne description de ces événements extrêmes (vagues de chaleur, sécheresses, inondations, crues, cyclones, etc...). Les méthodes à développer s'appuient sur la description statistique des phénomènes extrêmes à petite échelle, mais aussi sur les modèles globaux et régionaux de climat. Il est également souhaitable d'approfondir l'évaluation des impacts et des risques associés à ces phénomènes extrêmes, une recherche qui bénéficiera de l'étude des climats passés. Enfin, l'analyse théorique des phénomènes extrêmes (statistiques, systèmes dynamiques, etc...) est à encourager.

Climat global, politiques énergétiques, et développement économique



Il s'agit d'identifier les liens entre le climat et l'économie mondiale. En effet, l'évolution du climat dépend en particulier de la politique énergétique, de la croissance économique et du développement des pays émergents, via les émissions de gaz à effet de serre et les changements d'utilisation des sols. En

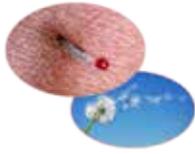
retour, les systèmes économiques dépendent de l'évolution du climat, via d'une part les dommages créés par les événements extrêmes et leurs conséquences, et d'autre part la perception même du changement climatique, la réduction des incertitudes sur son amplitude et l'anticipation. Comprendre l'imbrication entre climat et scénarios économiques est indispensable pour mieux optimiser les politiques de réduction des émissions. Ce thème nécessitera une coordination forte entre les économistes et les climatologues.

Changement climatique, écosystèmes, usage des sols et ressources en eau



L'impact du changement climatique sur les ressources en eau et les écosystèmes naturels et agricoles reste encore mal connu. De plus, l'homme agit directement sur les écosystèmes et les ressources en eau par son utilisation de ces ressources. Mieux comprendre et prévoir comment écosystèmes et ressources en eau seront impactés est important pour l'évolution du climat, des ressources, et la politique de séquestration du carbone. La recherche doit, en priorité, permettre une meilleure compréhension et prévision de ces impacts. Parallèlement, des travaux doivent être menés pour définir les liens entre le changement climatique et l'anthropisation des surfaces, sous différents aspects, notamment la contribution de l'usage des terres aux émissions polluantes et au réchauffement. Dans ce cadre, l'étude simultanée des climats passés et présents est nécessaire.

Impact du changement climatique sur la santé



Le changement climatique perturbe un grand nombre de paramètres des systèmes naturels terrestres, occasionnant un ensemble de risques pour la santé humaine. La modification simultanée de la composition et des circulations atmosphériques pourra modifier la fréquence et l'intensité d'épisodes aigus de pollution atmosphérique. Par ailleurs, le changement climatique provoquera une modification de la fréquence et de la nature des événements extrêmes comme les vagues de chaleur, avec un effet direct sur la santé. En outre, il risque de modifier l'écologie des vecteurs de maladies. Des collaborations entre chercheurs des domaines de la santé, du climat et de l'environnement, doivent donc être développées afin d'étudier les conséquences du changement climatique sur la santé. L'accent sera mis sur les recherches relatives aux populations vulnérables (enfants, personnes malades et/ou âgées, personnes en situation de handicap...), et sur l'étude des agressions physiques, chimiques et biologiques (dont les maladies infectieuses ou parasitaires) spécifiquement causées par le changement climatique.

La difficulté de la démarche est liée au fait que les mesures d'adaptation ne peuvent être les mêmes partout : elles sont très spécifiques aux milieux de vie, aux secteurs d'activité, aux régions géographiques et aux sociétés. Ainsi, les connaissances sur ce qui fonde les capacités d'adaptation d'un territoire donné doivent être approfondies, afin de mettre en place des actions cohérentes et efficaces.

L'adaptation au changement climatique constitue un axe transverse aux quatre thématiques du GIS Climat. Il a été ajouté au programme scientifique du consortium après deux ans d'existence pour, d'une part, encourager les travaux sur le sujet, et d'autre part, pointer la nécessité d'intégrer une réflexion sur l'adaptation dans toute recherche sur le changement climatique.

Adaptation au changement climatique



Quelques soient les mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre envisagées, un changement climatique important auquel il faudra s'adapter est désormais inévitable.

L'adaptation au changement climatique (changement moyen, variabilité, extrêmes) vise à réduire les risques et les dommages liés aux conséquences négatives actuelles et futures du climat et, le cas échéant, à tirer parti des avantages possibles.

Annexe n°3

Les publications du GIS Climat

CO-PRODUCTION AUDIOVISUELLE « SCIENCES EN QUESTIONS - CHANGEMENT CLIMATIQUE ET BIODIVERSITÉ »

Novembre 2008

Co-production grand public du Muséum National d'Histoire Naturelle, du GIS Climat-Environnement-Société et de La Huit conçue et coordonnée par Anne Teyssède. En quelques minutes, une douzaine de scientifiques sélectionnés pour leur expertise, répondent à des questions sur le changement climatique, ses impacts sur la biodiversité, et les enjeux pour le siècle à venir.

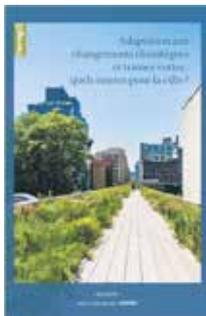
<http://www.gisclimat.fr/science-en-question-changement-climatique-et-biodiversite>

DOSSIER THÉMATIQUE « CHANGEMENT CLIMATIQUE ET QUALITÉ DE L'AIR : CONSÉQUENCES POUR LA SANTÉ ET LES ÉCOSYSTÈMES »

Mars 2010

Dossier thématique coordonné par le GIS Climat.

http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/qualite_air.pdf



LIVRE « ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET TRAMES VERTES : QUELS ENJEUX POUR LA VILLE ? »

Septembre 2012

Le GIS Climat et son programme de recherche Changement Climatique et Trame Verte (CCTV et CCTV2), a souhaité réunir des scientifiques de différentes disciplines (climatologie, sciences de l'atmosphère, sociologie, urbanisme, écologie, géographie, etc.) pour un approvisionnement réciproque et des regards croisés sur la problématique des trames vertes urbaines.

Suite à un « contrat inaugural » construit dans la durée, des « présentations harmonisées » ont eu lieu lors d'une journée de travail au cours desquelles les acteurs ont exposé leur perspective sur la problématique, présentations qui ont servi de base aux réflexions présentées dans un hors-série de la revue électronique en sciences de l'environnement [Vertigo]. Cette publication s'est d'abord faite au format électronique (<http://vertigo.revues.org/11726>) en mai 2012 puis a été éditée au format papier en décembre 2012.

Cet ouvrage pose un regard interdisciplinaire sur ce thème qui aborde nos villes comme des espaces de vie remaniés. Il confronte des travaux d'urbanistes, d'ingénieurs, de chercheurs en sciences de l'atmosphère, en écologie et en sciences humaines et sociales.

<http://www.gisclimat.fr/livre-adaptation-aux-changements-climatiques-et-trames-vertes-quels-enjeux-pour-la-ville>



SYNTHÈSE DU CYCLE DE SÉMINAIRES SUR L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE 2010

Juillet 2013

Ce document constitue la synthèse des présentations et discussions qui se sont tenues au cours d'une série de séminaires sur l'adaptation au changement climatique entre chercheurs français et québécois, conçu en 2010 pour débattre d'idées, concepts et pratiques à partir de deux lieux se différenciant par leurs environnements « naturels » et socio-économiques mais liés par des liens culturels forts et ayant en partage la même langue. En proposant ainsi des conditions favorables aux échanges et à l'expression des idées, ancrées dans la diversité des situations, scientifiques et acteurs des politiques environnementales ont été invités à croiser leurs réflexions. Il s'agissait de créer des opportunités d'élaboration d'un cadre transdisciplinaire pour l'adaptation, voire d'élaboration co-partenaire de mesures d'adaptation et de leur évaluation.

<http://www.gisclimat.fr/adaptation-au-changement-climatique-synth%C3%A8se-du-cycle-de-s%C3%A9minaires-franco-qui%C3%A9b%C3%A9cois-0>



SYNTHÈSE « REGARDS CROISÉS SUR LES ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE DE L'OUEST »

Septembre 2013

Depuis sa création, le GIS Climat a ciblé la région d'Afrique de l'Ouest comme une de ses priorités. D'une part, cette région est l'une des plus vulnérables aux aléas climatiques et aux changements environnementaux de la planète et, d'autre part, la majorité des

laboratoires membres du GIS Climat s'y implique depuis longtemps tant en matière de recherche que de formation. Dans ce contexte, l'action du GIS Climat a été de construire ou renforcer le travail de rapprochement et d'entrecroisement des disciplines autour des enjeux du changement climatique en Afrique de l'Ouest, dans le respect des approches et à différentes échelles d'intervention. Cette publication est une synthèse des travaux réalisés dans le cadre du GIS Climat, portant sur la vulnérabilité et l'adaptation dans les secteurs clés que sont les ressources en eau, l'agriculture, la santé ou encore les migrations. La volonté du GIS Climat étant d'élargir son approche interdisciplinaire au-delà de son périmètre, il a ouvert les pages de cette publication à quelques projets amis ainsi qu'à des acteurs d'horizons variés qui font part de leur expérience programmatique et de terrain.

<https://www.gisclimat.fr/synthese-regards-croises-sur-les-enjeux-du-changement-climatique-en-afrique-de-louest>



ACTES DE LA CONFÉRENCE « IMAGES ENVIRONNEMENTALES GLOBALES : NOUVELLES PERSPECTIVES »

Mars 2015

La conférence internationale « Images environnementales globales : nouvelles perspectives », qui s'est tenue en 2014, entrait dans le cadre du projet ENVIGLOB (Mise en

débat de l'environnement global : controverses et images) soutenu par le GIS Climat. Ce projet avait pour objectif d'interroger la mise en débat de « l'environnement global » à travers deux volets : « discours et controverses » et « images et représentations ». Cette conférence constituait le point majeur de ce second volet, centré sur le rôle des images dans la constitution des problématiques environnementales, et notamment du changement climatique comme problème public planétaire, et dans les dynamiques politiques.

Cette publication rassemble les synthèses des présentations données au cours de ce colloque qui a permis d'ouvrir des horizons de réflexion, de dévoiler les grandes tensions au sein desquelles les images environnementales globales sont prises et d'identifier des pistes de réflexions transversales qui vont permettre d'engager un vrai dialogue entre les sciences et les humanités, dialogue qui promet de produire des résultats à la fois surprenants et novateurs.

http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/Images_FR_BD_0.pdf



ACTES DE LA CONFÉRENCE « CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SANTÉ »

Septembre 2015.

Stress thermiques, problèmes respiratoires, allergies, infections bactériennes et/ou virales, cancers de la peau...

multiples sont les pathologies susceptibles d'évoluer ou d'émerger avec le changement climatique dans leur répartition spatiale et temporelle, leur incidence et leur intensité. Ces pathologies peuvent résulter de la conjonction de phénomènes climatiques avec d'autres facteurs, qui mettent l'organisme dans une situation transitoire ou permanente de vulnérabilité. Il peut s'agir de l'influence directe de facteurs climatiques sur l'organisme humain qui, lors d'épisodes extrêmes, comme les vagues de chaleur, peuvent avoir des conséquences tragiques comme l'a illustré la canicule de 2003 en Europe. Mais les menaces sanitaires sont aussi souvent liées aux modifications des milieux : dégradations de la qualité de l'air (pollutions atmosphériques, pollens...), modification de la biodiversité et de l'usage des terres, conditions écologiques favorisant la survie et la multiplication de micro-organismes pathogènes, ou des vecteurs de ces micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies infectieuses ou parasitaires variées. Ces modifications des milieux sont également elles-mêmes soumises aux effets du changement climatique, créant ainsi un impact indirect du climat sur la santé via les modifications des milieux. Le troisième type d'effets, également qualifiés d'indirects, est lié aux dégradations sociales et économiques des sociétés, avec par exemple la diminution de la qualité des systèmes de santé ou les phénomènes migratoires massifs. Dans tous les cas, appréhender la relation climat-santé nécessite une démarche intégrant différentes disciplines.

L'objectif de cette conférence, organisée par le GIS Climat avec l'appui de Serge Morand (Institut des sciences de l'évolution de Montpellier), était d'aborder ces différents aspects. Cette publication rassemble les synthèses des présentations données au cours de ce colloque qui a permis de disposer d'une vision large de la problématique « Changement climatique et santé ».

<http://www.gisclimat.fr/actes-du-colloque-changement-climatique-et-sant%C3%A9>



**SYNTHÈSE DE LA CONFÉRENCE
« CHALLENGING THE "CLIMATE
CONSENSUS". PERSPECTIVES
FROM THE SOCIAL SCIENCES AND
HUMANITIES TO ANALYSE
"DISSONANT VOICES" IN THE
PUBLIC DEBATE ON CLIMATE
CHANGE »**

Octobre 2015

La conférence internationale « Challenging the "climate consensus". Perspectives from the social sciences and humanities to analyse "dissonant voices" in the public debate on climate change », qui s'est tenue en 2013, entrait dans le cadre du projet ENVIGLOB soutenu par le GIS Climat. Ce projet avait pour objectif d'interroger la mise en débat de « l'environnement global » à travers deux volets : « discours et controverses » et « images et représentations ». Lors de cette conférence, différentes approches théoriques et méthodologiques se sont confrontées afin d'examiner comment elles pouvaient contribuer à une compréhension plus approfondie des processus sous-tendant « déni » et « consensus », ce qu'elles dévoilaient et quels étaient leurs angles morts.

Cette publication est une synthèse des débats qui ont eu lieu au cours de ce colloque.

<http://www.gisclimat.fr/parution-de-la-synthese-du-colloque-les-voix-dissonantes-dans-le-debat-sur-le-changement-climatique>



**SYNTHÈSE DE L'ATELIER EUROPÉEN
« REPRÉSENTATIONS INDIVIDUELLES
ET COLLECTIVES DU CHANGEMENT
CLIMATIQUE »**

Mars 2016.

Comment se forment les représentations mentales du climat, du changement climatique et de ses impacts ?

A l'heure actuelle, le rôle de ces représentations individuelles et collectives n'est encore abordé que de manière fragmentaire dans les recherches sur la question climatique. C'est pour faire un état des lieux des connaissances dans le domaine que le GIS Climat-Environnement-Société, avec Annamaria Lammel (laboratoire Paragraphe - université Paris 8), a réuni des chercheurs de sciences humaines – psychologues, linguistes, sémiologues, anthropologues... – lors des deux ateliers « Représentations individuelles et collectives du changement climatique : perspectives interdisciplinaires » (8 mars 2013) et « Connaissances, croyances et représentations

dans la compréhension des questions climatiques » (29 novembre 2013). Cette publication est une synthèse des présentations faites lors de ces ateliers.

<http://www.gisclimat.fr/synth%C3%A8se-la-question-climatique-savoirs-repr%C3%A9sentations-discours>



**APPROCHES INTERDISCIPLINAIRES
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

Mars 2016.

Cet ouvrage présente l'expérience interdisciplinaire menée par un ensemble de laboratoires de la région Île de France de 2007 à 2016 autour des thématiques reliant climat, environnement et société. Cet ensemble, rassemblé au sein du Groupement d'Intérêt Scientifique Climat-Environnement-Société (GIS Climat), visait à renforcer les recherches interdisciplinaires sur le changement climatique en s'appuyant sur des compétences en climat, hydrologie, écologie, économie, santé et sciences humaines et sociales.

Les travaux de recherche sont rassemblés autour des thématiques : interactions climat-économie, approches multidisciplinaires pour l'étude des événements extrêmes, écosystèmes et eau : impacts, adaptation et atténuation, changement climatique et santé. Une cinquième thématique aborde la construction de l'interdisciplinarité au sein du GIS Climat et présente une analyse réflexive de la démarche poursuivie et de l'expérience acquise.

Ce document est disponible au format pdf sur le site du GIS Climat : www.gisclimat.fr

AUTRES PUBLICATIONS

Dusza Y., Pacteau C. & Abbadie L., 2015 **Toitures végétalisées et services écosystémiques : état de l'art**, dans *Toit urbain, les défis énergétique et écosystémique d'un nouveau territoire*, Presses universitaires de Laval.

Pacteau C., 2015, **La recherche fondamentale et l'étude de la cité**, dans *Toit urbain, les défis énergétique et écosystémique d'un nouveau territoire*, Presses universitaires de Laval.

Abbadie L., Pacteau C. & Y. Dusza, 2014, **Pour des toits multifonctionnels : l'approche écosystémique**. ARQ – Architecture Québec.

Pacteau, C. & Joussaume, S., 2013, **Adaptation au changement climatique**, in Euzen, Eymard & Gaill, *Le développement durable à découvert*, Éditions du CNRS.

Joussaume, S. & Pacteau, C., 2011, **A quel type de climat faut-il se préparer ?** in Petit et al., *Les futurs du climat*.

Pacteau, C., 2011, **Vulnérabilités urbaines : le changement climatique**. *Architecture aujourd'hui*. Numéro spécial Villes durables.

Annexe n°4

Les animations GIS Climat

2007

PREMIÈRE JOURNÉE D'ÉCHANGE DU GIS CLIMAT-ENVIRONNEMENT-SOCIÉTÉ

22 mai 2007, Paris.

Journée organisée par le GIS Climat.

Au cours de cette journée, les responsables des laboratoires partenaires du GIS Climat ont présenté les activités de leur unité en rapport avec les thèmes du groupement et proposé une série d'actions synergiques envisageables dans le cadre du GIS.

Les fondateurs ont décrit les missions du consortium et les actions programmées pour les mois à venir. Un enregistrement vidéo de cette manifestation a été réalisé et est disponible sur demande (contact@gisclimat.fr)

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/premiere-journee-dechange-du-gis-climat-environnement-societe>

2008

SERGEY ZIMOV : PERMAFROST FEEDBACKS IN THE EARTH SYSTEM

27 mars 2008, Gif sur Yvette

Journée organisée par le GIS Climat.

Plusieurs laboratoires français, dont certains sont impliqués dans le GIS Climat-Environnement-Société, étudient la dynamique passée et future du permafrost. En effet, le réchauffement climatique actuel a déjà initié la fonte du permafrost dans certaines régions, avec pour conséquence des émissions supplémentaires de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone et méthane) dans l'atmosphère. Si le phénomène se poursuit, les impacts sur l'environnement pourraient être très importants.

Le GIS Climat a donc jugé intéressante la demande du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement d'inviter à Paris le scientifique russe Sergey Zimov, directeur de la station scientifique russe de Tcherski, afin de permettre un échange sur le sujet avec les spécialistes français, et de réfléchir au montage de nouveaux projets de recherche communs.

Les échanges avec les chercheurs impliqués dans l'étude du permafrost ont été productifs. Il a notamment été décidé de poursuivre le couplage du modèle de décomposition du carbone dans le permafrost avec le modèle de climat global de l'IPSL. Par ailleurs, il a été envisagé d'estimer la densité d'herbivores compatible avec plusieurs types de

végétation sous différentes conditions climatiques, en menant des simulations avec le modèle de végétation ORCHIDEE.

<http://www.gisclimat.fr/chercheur/sergey-zimov-specialiste-des-pergelisols>

COLLOQUE ANNUEL DU GIS CLIMAT

23 mai 2008, Paris

Colloque organisé par le GIS Climat.

Après quatorze mois d'existence, le GIS Climat-Environnement-Société a organisé son premier colloque annuel qui a permis de présenter les activités menées, en cours et prévues, de communiquer sur les premiers projets ayant obtenu un financement, et d'identifier les forces et faiblesses de la structure et ses évolutions possibles.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-colloque-annuel-du-gis-climat>

JOURNÉE DE RENCONTRE « CHANGEMENT CLIMATIQUE ET QUALITÉ DE L'AIR »

15 septembre 2008, Paris

Journée co-organisée par le GIS Climat, l'IPSL et la région Île-de-France.

L'Institut Pierre Simon Laplace, le GIS Climat-Environnement-Société et la région Île-de-France ont organisé conjointement cette journée, en marge de la conférence internationale IGAC. Cette manifestation visait à faire le point sur les travaux de recherche menés actuellement pour comprendre les interactions entre changement climatique et pollution atmosphérique et prévoir leurs impacts sur l'environnement et la société, et à présenter les activités opérationnelles qui permettent aujourd'hui de surveiller la qualité de l'air et de contrôler les émissions polluantes.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/journee-de-rencontre-changement-climatique-et-qualite-de-lair>

CONFÉRENCE SCIENTIFIQUE « PATHWAYS FOR GREENHOUSE GAS EMISSIONS: THE GAP BETWEEN ECONOMIC PRACTICALITY AND ENVIRONMENTAL NECESSITY »

26 septembre 2008, Paris

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/conference-scientifique-pathways-greenhouse-gas-emissions-gap-between-eco>

CONFÉRENCE « CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX : IMPACTS SUR LA SANTÉ DE LA POPULATION FRANCILIENNE »

6 octobre 2008, à Paris

Conférence co-organisée par le GIS Climat, le GIS R2DS, Fondaterra et la Région Île-de-France.

Cette journée visait à communiquer sur les recherches et les actions menées en Île-de-France dans le domaine de la santé environnementale afin de fédérer les acteurs concernés autour du réseau constitué avec l'appui de la Région (DIM Santé-Environnement-Toxicologie). Elle avait également pour objectif de mettre en évidence des enjeux et des pistes à creuser pour de nouvelles actions, qu'elles soient politiques, d'innovation ou de recherche. La journée s'est déroulée principalement sous forme de tables rondes afin d'encourager les échanges entre les intervenants et le public. Les activités du GIS Climat ont été présentées à cette occasion, et les besoins en recherche sur les impacts du changement climatique sur la santé ont été évoqués et discutés.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/colloque-changements-environnementaux-impacts-sur-la-sante-de-la-populati>

2009

SÉMINAIRE « COMPRENDRE LE RISQUE ENVIRONNEMENTAL : DE LA THÉORIE DES PROBABILITÉS À L'ÉVALUATION DES IMPACTS »

22 janvier 2009, Paris.

Journée organisée dans le cadre du projet HASARDS.

Le projet HASARDS visait à organiser une réflexion commune entre les communautés scientifiques « mathématiques » et « sciences de l'environnement/santé » autour de plusieurs questions : changement climatique, extrêmes, santé. La réflexion était engagée via l'organisation, tous les deux mois, de séminaires dans lesquels des orateurs des deux communautés intervenaient. Outre une fonction évidente d'échanges scientifiques entre chercheurs, cette initiative a permis d'évaluer les modes de communication de chaque communauté et de définir des stratégies pour optimiser des formes d'interdisciplinarité.

<http://www.gisclimat.fr/projet/hasards>

RENCONTRE DES CHERCHEURS EN SCIENCES PHYSIQUES ET DES MÉDECINS/ÉPIDÉMIOLOGISTES AUTOUR DE LA PROBLÉMATIQUE DU RAYONNEMENT ULTRAVIOLET

29 janvier 2009, Paris

Journée organisée dans le cadre du projet RISC UV.

Ce colloque, visait à rassembler les chercheurs travaillant sur la mesure du rayonnement UV et son évolution dans un contexte de changement global, et les médecins/épidémiologistes étudiant les impacts de ce rayonnement sur la santé. Il avait pour objectifs de décrire l'état de l'art de la problématique au sein de

chaque communauté et de définir éventuellement de nouveaux projets collaboratifs.

<http://www.gisclimat.fr/actualite/risc-uv-rencontre-des-chercheurs-en-sciences-physiques-et-des-medecinsepidemiologistes-aut>

SÉMINAIRE « LE CHAOS »

7 mai 2009, Paris.

Journée organisée dans le cadre du projet HASARDS.

<http://www.gisclimat.fr/projet/hasards>

JOURNÉE THÉMATIQUE « RENFORCER LA RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE »

25 mai 2009, Paris

Journée organisée par le GIS Climat.

Trois temps forts ont rythmé cette journée :

- L'interdisciplinarité au sein du GIS Climat : réflexion sur le concept d'interdisciplinarité, pratiques actuelles et difficultés rencontrées, illustration par les expériences vécues dans le cadre de plusieurs projets financés par le GIS Climat ;
- Témoignages autour de l'interdisciplinarité : cinq orateurs sont venus témoigner de leurs actions en cours ou passées visant à promouvoir l'interdisciplinarité dans des recherches sur le changement climatique ;
- Table ronde : à la lumière des présentations et discussions précédentes, les intervenants ont fait le bilan des acquis de la journée et ont discuté de solutions possibles pour renforcer l'interdisciplinarité au sein du GIS Climat.

La journée a également été l'occasion de faire un bilan des activités du GIS Climat depuis la dernière Assemblée Générale : présentation introductive et affichage de posters sur les premiers résultats des projets en cours à l'heure du repas.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/journee-thematique-renforcer-la-recherche-interdisciplinaire>

SÉMINAIRE DE LAURENT LEPAGE « VARIABILITÉ DU CLIMAT ET STRATÉGIES D'ADAPTATION AU SAHEL : POUR UNE APPROCHE INTÉGRÉE »

26 mai 2009, Paris

Journée organisée par le GIS Climat.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/seminaire-de-laurent-lepage-variabilite-du-climat-et-strategies-dadaptati>

SÉMINAIRE DE PROSPECTIVE DU GIS CLIMAT

29 juin 2009 - 02 juillet 2009, Domaine de Seillac

Séminaire organisé par le GIS Climat.

Des membres du GIS Climat (équipe de direction, Comité d'Orientation, membres des laboratoires) et des invités extérieurs concernés, se sont réunis en

séminaire dans l'objectif de préparer une feuille de route pour les prochaines années du consortium. Les réflexions ont eu lieu dans le cadre de six ateliers thématiques.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/seminaire-prospective>

SÉMINAIRE « IMPROVING THE REPRESENTATION OF BIODIVERSITY IN VEGETATION MODELING: A JOINT TRY/BBS WORKSHOP »

16-18 octobre 2009, Le Cap, Afrique du Sud.

Séminaire organisé dans le cadre du projet HUMBOLDT.

Trois obstacles clés rendent difficiles la représentation de la complexité biologique dans les modèles de biosphère :

- le manque de données pour paramétrer et tester les modèles ;
 - la faible représentation des processus clés tels que la migration, la réponse aux perturbations, la mortalité...
 - les efforts insuffisants d'évaluation de la modélisation des changements de végétation;
- Dans le but de fournir l'impulsion et les outils pour surmonter ces obstacles, l'équipe du projet Humboldt a participé à l'organisation d'un séminaire conjoint entre les initiatives TRY et BBS.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-s%C3%A9minaire-%E2%80%9Cimproving-representation-biodiversity-vegetation-modelling-joint-trybbs-workshop>

SÉMINAIRE DE PATRICK KINNEY « CLIMATE CHANGE, AIR POLLUTION AND HUMAN HEALTH »

28 octobre 2009, Gif sur Yvette

Journée organisée par le GIS Climat.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/seminaire-de-patrick-kinney-climate-change-air-pollution-and-human-health>

SÉMINAIRE « LES ENJEUX DE COPENHAGUE »

27 novembre 2009, à Paris

Séminaire co-organisé par le GIS Climat et l'IDDRI.

Ce séminaire visait à rassembler les scientifiques autour des enjeux des négociations de Copenhague. Plusieurs présentations ont été données et suivies d'un débat.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/%E2%80%98%E2%80%98-les-enjeux-de-copenhague-seminaire-d%E2%80%99information-destination-des-sciens>

2010

SÉMINAIRE « STATISTIQUES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE »

28 et 29 janvier 2010, Paris.

Séminaire organisé dans le cadre du projet HASARDS.

<http://www.gisclimat.fr/projet/hasards>

SÉMINAIRE « MÉTHODES DE COUPLAGE DES MODÈLES ÉCONOMIQUES ET BIOPHYSIQUES »

4 février 2010, Paris.

Séminaire organisé dans le cadre du projet DECLIC.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/seminaire-methodes-de-couplage-des-modeles-economiques-et-biophysiques>

SÉMINAIRE DE PROSPECTIVE « FUTURS MÉDITERRANÉENS, ÉMERGENCE ET RISQUES SANITAIRES : COMMENT MODÉLISER ET SCÉNARISER ? »

10 et 11 février 2010, Montpellier.

Séminaire co-organisé par le C.Pacteau (GIS Climat) et S.Morand (ISEM).

Les objectifs du séminaire étaient les suivants :

- peut-on scénariser, d'un point de vue géographique, les risques épidémiologiques face aux changements globaux, dont climatiques ?
- quels sont les acquis, les verrous, les pistes de travail, la stratégie scientifique à élaborer et les moyens à rechercher ?

JOURNÉE D'ÉTUDE « ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET TRAMES VERTES : QUELS ENJEUX POUR LA VILLE ? »

1er avril 2010

Journée organisée dans le cadre des projets RAMONS et CCTV.

Cette journée a réuni des experts de différentes disciplines (climatologie, sociologie, urbanisme, écologie, hydrologie, etc.) dans le but de connaître et partager leur regard sur la relation entre la ville, le climat et la nature. En fin de journée, un croisement des approches climatologiques, écologiques, sociologiques et urbanistiques exposées a mis en lumière leurs apports et limites à la question des trames vertes, et a proposé des pistes pour l'étude interdisciplinaire de cet objet complexe et multi-facettes.

Un compte-rendu, appuyant particulièrement la notion d'interdisciplinarité, a été rédigé par les acteurs du projet RAMONS.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-de-la-journee-detudes-adaptation-au-changement-climatique-et-trames-vertes-quels-enjeux-pour-l>

<https://www.gisclimat.fr/ramons-changement-climatique-et-trames-vertes-urbaines-vers-une-approche-interdisciplinaire>

CYCLE DE SÉMINAIRES FRANCO-QUÉBÉCOIS SUR L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

3 sessions en 2010

Séminaires co-organisés par le GIS Climat, NSS Dialogues, le Ministère de l'environnement et l'Institut des sciences de l'environnement de l'UQAM.

Devant l'évidence des impacts du changement climatique sur les systèmes naturels et les sociétés humaines, il apparaît nécessaire de compléter les mesures d'atténuation mises en place aux échelles nationales et globales par différentes initiatives d'adaptation : nouvelles politiques publiques, innovations technologiques, changements de comportement...

Dans cet objectif, le GIS Climat, l'association Nature Sciences Sociétés Dialogues, le MEEDDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer) et l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'UQAM (Université du Québec à Montréal) ont co-organisé, en 2010, un cycle de trois séminaires visant à approfondir les enjeux de l'adaptation au changement climatique et à réfléchir aux actions possibles en termes de politiques publiques et de recherche.

Chacune de sessions a été construite autour d'une thématique spécifique, en intégrant des interventions en séances plénières, et des ateliers de discussion en groupes plus restreints :

- 27 et 28 avril 2010 à Paris et Montréal : session « villes »

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-seminaire-villes-et-adaptation-au-changement-climatique>

- 15 et 16 juin 2010 à Paris : session « zones vulnérables »

<http://www.gisclimat.fr/seminaires-ACC-zones-vulnerables-bilan>

- 15 et 16 septembre 2010 à Paris : session « forêts, espaces naturels et biodiversité »

<http://www.gisclimat.fr/seminaires-ACC-forets-bilan>

Une synthèse écrite de ces trois séminaires a été publiée (<https://www.gisclimat.fr/adaptation-au-changement-climatique-synthese-du-cycle-de-seminaires-franco-quebecois-0>).

ATELIER « OZONE STRATOSPHERIQUE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE, MISE EN PERSPECTIVE HISTORIQUE ET POLITIQUE »

8 juin 2010, Paris

Atelier organisé dans le cadre du projet EPIC3.

La première partie de la journée de travail, organisée dans le cadre du projet EPIC3, a exploré les relations historiques entre ozone stratosphérique et climat au sein des études scientifiques depuis les années 1950. Dans une seconde partie, il s'agissait d'étudier les liens entre l'expertise scientifique du « trou de

la couche d'ozone » et du changement climatique, ainsi qu'entre les gouvernances constituées à la suite du Protocole de Montréal et de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques adoptée lors du Sommet de la Terre de Rio (1992).

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/workshop-ozone-stratospherique-et-changement-climatique>

SÉMINAIRE « OCÉAN, CLIMAT ET VULNÉRABILITÉ »

22 et 23 juin 2010, Brest.

Séminaire co-organisé par le GIS Climat et le GIS Pôle Mer.

Ce séminaire, co-organisé dans le cadre de la *Sea Tech Week 2010* avait pour objectif d'élaborer une stratégie scientifique partagée, fondamentalement interdisciplinaire, s'appuyant sur les forces respectives et les complémentarités des deux GIS.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-seminaire-ocean-climat-et-vulnerabilite-co-organise-par-le-gis-climat-environnement-societe>

COLLOQUE « LA MÉDIATISATION DES "CONTROVERSES" LIÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE. REGARDS SOCIOLOGIQUES »

20 et 21 septembre 2010, à Paris

Colloque co-organisé par S.Aykut, JB.Comby et H.Guillemot (Centre Koyré).

Après une analyse de la médiatisation des enjeux climatiques dans différents pays, les intervenants ont discuté des conditions sociales qui président à la visibilité de certaines controverses dans certains médias. L'enjeu scientifique de ce colloque était de s'interroger sur les manières dont la sociologie des controverses et la sociologie des problèmes publics peuvent s'enrichir mutuellement.

<http://www.gisclimat.fr/climate-change-controversies>

ATELIER ÉVALUATION DU RISQUE CLIMATIQUE DANS LE DÉVELOPPEMENT DES ZONES CÔTIÈRES OUEST AFRICAINES

27-29 octobre 2010, Dakar.

Atelier organisé dans le cadre du projet ERIC.

Cet atelier avait pour objectif de discuter de la vulnérabilité, mais aussi des potentialités environnementale et sociale des systèmes côtiers en relation avec les risques liés aux changements climatiques. Cinq domaines sont apparus, dans leurs évolutions actuelles, être porteurs de problèmes de développement durables : le littoral, l'eau potable, les paysages, l'urbanisation et les pêches. Une zone pilote était prévue sur le Campus international de M'Bour (Sénégal).

CONFÉRENCE ANNUELLE DU GIS CLIMAT « AUTOUR DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : ADAPTATION, CONTROVERSES »

29 novembre 2010, Paris.

Journée organisée par le GIS Climat.

Cette conférence a permis de faire le point sur les actions menées par le GIS Climat en 2010 et les perspectives futures du consortium, et de présenter des points clés abordés au cours du cycle de séminaire sur l'adaptation au changement climatique et du séminaire sur le sociologie des controverses médiatiques liées au changement climatique.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-conference-annuelle-2010>

SÉMINAIRE « WHAT HAVE BEEN THE ROBUST BIOGEOPHYSICAL IMPACTS OF LAND-USE INDUCED LAND-COVER CHANGES ON CLIMATE SINCE 1850 ? »

06 décembre 2010, Paris.

Journée organisée dans le cadre du projet DECLIC.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/declic-s%C3%A9minaire-sur-lusage-des-sols-what-have-been-robust-biogeophysical>

INTERVENTION DE PATRICK KINNEY « GLOBAL HEALTH IMPACTS ASSESSMENT IN A CHANGING CLIMATE »

10 décembre 2010, Paris.

Journée co-organisée par le GIS Climat et le DIM Sent (Réseau de recherche francilien Santé Environnement Toxicologie).

Cette conférence avait pour objectif de discuter des besoins en recherche dans le domaine « changement climatique/qualité de l'air/santé ». Patrick Kinney, professeur à la Columbia University Mailman School of Public Health et directeur du programme « climat et santé », est intervenu sur la problématique de l'évaluation des impacts sanitaires globaux dans le contexte du changement climatique.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-global-health-impacts-assessment-changing-climate>

SECOND COLLOQUE RISC-UV

16 décembre 2010, Paris.

Colloque organisé dans le cadre du projet RISC UV.

Dans le prolongement du projet RISC-UV, il était envisagé de développer un modèle multidimensionnel intégrant notamment les types de comportements d'exposition et de prévention aux UV, les paramètres climatiques (notion d'indice de confort) et les changements climatiques afin d'optimiser les campagnes de prévention solaire en s'appuyant sur une méthodologie de « gestion de risques ».

Ce colloque a permis de mettre en présence les potentiels acteurs d'un tel projet et de créer de nouvelles collaborations.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-second-colloque-risc-uv>

2011**INTERNATIONAL WORKSHOP « SHARING AND INTEGRATIVE ANALYSIS OF SOIL INCUBATION DATA »**

5 juillet 2011, Paris.

Colloque organisé dans le cadre du projet CARBOSOIL.

<https://www.gisclimat.fr/carbosoil-international-workshop-sharing-and-integrative-analysis-soil-incubation-data>

ATELIER TASK

17-19 août, Dournenez.

Atelier co-organisé avec l'IRD.

L'objectif de cet atelier était l'élaboration de l'initiative internationale « Approche territoriale du changement global - Partenariat services scientifiques et partage des savoirs » (sigle TASK, pour Territorial Approach to Global Change, Scientific Services and Knowledge Sharing Partnership). Il s'agissait d'appréhender la gestion du risque climatique en se focalisant sur le diagnostic de l'état des socio-écosystèmes locaux, en décrivant, décryptant et modélisant les interactions Homme-Milieu (environnement-société) mais aussi en construisant des scénarios prospectifs de développement local prenant en compte des représentations sociales des acteurs concernés et impliqués dans les projections climatiques et les niveaux d'incertitude, dans le but de documenter avec précision les conditions de durabilité (soutenabilité) sociale et écologique. Task a été présenté lors d'une conférence du R20 à Genève les 8 et 9 mars 2012 (<http://www.regions20.org>) et comme événement parallèle au Pavillon de France le 22 juin 2012 lors de la Conférence Rio +20.

2012**SÉMINAIRE « REGARDS CROISÉS SUR LES ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE DE L'OUEST »**

5 mars 2012, Paris.

Séminaire co-organisé par le GIS Climat et B.Sultan (LOCEAN).

La région d'Afrique de l'Ouest a été ciblée comme une des priorités du GIS Climat, parce qu'elle est l'une des plus vulnérables de la planète aux aléas climatiques et au changement global et que la majorité des laboratoires membres du GIS Climat s'y

implique depuis longtemps, tant en matière de recherche que de formation.

C'est pour faire une synthèse du travail effectué et pour en tirer des lignes directrices pour le futur que le GIS Climat a organisé ce séminaire de synthèse qui rassemblait, outre les porteurs des projets qu'il soutient, des chercheurs invités et des personnalités extérieures. La journée mêlait présentations de projets portant sur la vulnérabilité et l'adaptation dans les secteurs clés tels que l'agriculture, la santé, les migrations et les ressources en eau et temps de discussion. Elle s'est clôturée par une table ronde où des acteurs d'horizons différents ont élargi le débat autour des enjeux des changements globaux en Afrique subsaharienne à partir de leur expérience programmatique et de terrain.

Une synthèse écrite de ce séminaire a été publiée (<https://www.gisclimat.fr/synthese-regards-croises-sur-les-enjeux-du-changement-climatique-en-afrique-de-louest>).

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-s%C3%A9minaire-regards-crois%C3%A9s-sur-les-enjeux-du-changement-climatique-en-afrique-de-louest>

CONFÉRENCE « TRAME VERTE ET VILLE DURABLE »

19 mars 2012, Paris.

Colloque organisé dans le cadre du projet CCTV2.

Conférence donnée par Jacques Ahern, Professeur à l'University of Massachusetts Amhers.

COLLOQUE « INCERTITUDES ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE »

13 et 14 juin 2012, Meudon.

Colloque co-organisé par le GIS Climat et NSS Dialogues.

Fort de la richesse des réflexions suscitées par le cycle de séminaires que le GIS avait co-organisé en 2010, le GIS Climat et NSS Dialogues décidé de poursuivre leur collaboration et d'organiser ce nouveau séminaire.

L'objectif du colloque était d'examiner comment les incertitudes étaient appréhendées à différentes échelles de temps et d'espace et dans les différentes approches théoriques, méthodologiques et empiriques des recherches sur l'adaptation au changement climatique.

La première journée du colloque était consacrée à « l'incertitude comme fait scientifique » et la seconde à « l'incertitude et la décision ».

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-colloque-incertitudes-et-adaptation-au-changement-climatique>

SÉMINAIRE « LA MODÉLISATION ÉCONOMIE-CLIMAT-CARBONE DANS LE PROCHAIN RAPPORT DU GIEC »

4 juillet 2012, Nogent sur Marne.

Colloque organisé dans le cadre du projet DECLIC.

Colloque final du projet DECLIC.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-s%C3%A9minaire-la-mod%C3%A9lisation-economie-climat-carbone-dans-le-prochain-rapport-du-giec>

SÉMINAIRE « AIR POLLUTION AND GLOBAL WARMING : GETTING TO WIN, WIN, WIN »

11 juillet 2012, Gif sur Yvette.

Colloque organisé par R.Vautard.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-s%C3%A9minaire-air-pollution-and-global-warming-getting-win-win-win>

CONFÉRENCE « CHANGEMENT CLIMATIQUE: L'EXCEPTION D'UN RISQUE »

4 octobre 2012, Paris.

Colloque organisé dans le cadre du projet CCTV2.

Dans le cadre du programme CCTV - Changements Climatiques et Trames Vertes urbaines -, Amy Dahan, directrice de recherche au centre Koyré, proposait une intervention intitulée : « Changement Climatique : l'exception d'un risque ». Ses réflexions s'articulaient autour de trois entrées thématiques :

- la globalité, en grandes difficultés politiques actuellement ;
- l'irréversibilité et le temps long, confrontés aux temporalités politique ;
- la gouvernementalité de ce risque et les problèmes de gouvernance.

L'exposé a été suivi de questions générales puis d'un débat relativement au programme CCTV.

SYMPOSIUM INTERNATIONAL « LA NATURE, SOURCE D'INNOVATION POUR LA MÉTROPOLE DURABLE ? » - CHICAGO, NEW YORK, MONTRÉAL, PARIS : BILAN CRITIQUE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET DES POLITIQUES MUNICIPALES

24 octobre 2012

Colloque organisé dans le cadre du projet IGNIS.

La réflexion et l'expérimentation de l'utilisation de la nature en ville empruntent des chemins variés, notamment quand il s'agit de réduire les gaz à effet de serre, d'atténuer l'îlot de chaleur, de rendre les bâtiments plus sobres énergétiquement ou encore de maîtriser le cycle de l'eau... D'où l'intérêt d'une meilleure connaissance scientifique de ces systèmes et de leurs interactions avec les formes urbaines, si l'on veut parvenir à l'évaluation de leurs potentiels sur des critères validés, afin de prévoir leur évolution à long terme et d'aider à la prise de décision. C'était l'objet de ce symposium, qui a rassemblé scientifiques, acteurs publics et professionnels de la ville venant de Chicago, Montréal, New York et

Paris. La question des services écologiques dans les projets d'architecture et d'urbanisme durables, en particuliers des toits urbains, a constitué le fil rouge des débats.

Cet événement a été organisé avec Fabienne Giboudeaux, adjointe au maire de Paris chargée des espaces verts et de la biodiversité et Pierre Mansat, adjoint au maire de Paris chargé de Paris Métropole, dans le cadre du programme interdisciplinaire de recherche *Ignis Mutat Res*, (ministères en charge de la culture et de l'environnement et Atelier International du Grand Paris).

<http://www.gisclimat.fr/bilan-du-symposium-international-la-nature-source-dinnovation-pour-la-m%C3%A9tropole-durable-chicago-new>

COLLOQUE « VÉGÉTATION, VILLE, CLIMAT : APPROCHES SCIENTIFIQUES, ENJEUX POLITIQUES »

3 décembre 2012, Paris.

Colloque organisé dans le cadre du projet CCTV2.

La journée articulait deux entrées thématiques : d'une part? les liens entre végétation urbaine et climat, deux enjeux majeurs identifiés par le programme CCTV comme par les services de la Ville de Paris ; d'autre part, les aspects socioculturels et écologiques de la végétation, tels que les relations entre les citoyens et la nature.

De plus, l'enjeu de cette journée était de dépasser la confrontation de deux sphères habituellement distinctes, afin d'enrichir les pratiques des uns et des autres. Pour la Ville de Paris, le défi consistait à appuyer son action sur les résultats des recherches les plus récentes en la matière, et à enrichir sa réflexion prospective au contact des questionnements et débats scientifiques actuels. Pour les chercheurs en général et ceux du programme CCTV en particulier, il s'agissait de mieux comprendre les problèmes concrets que rencontre une grande métropole et d'imaginer la mise en œuvre de recherches complémentaires.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/colloque-v%C3%A9g%C3%A9tation-ville-climat-approches-scientifiques-enjeux>

2013

COLLOQUE RISC-UV N°3

31 janvier 2013, Montigny le Bretonneux.

Colloque organisé dans le cadre du projet RISC UV.

<http://www.gisclimat.fr/3%C3%A8me-colloque-risc-uv>

CONFÉRENCE INTERNATIONALE « CHALLENGING THE "CLIMATE CONSENSUS". PERSPECTIVES FROM THE SOCIAL SCIENCES AND HUMANITIES TO ANALYSE "DISSONANT VOICES" IN THE PUBLIC DEBATE ON CLIMATE CHANGE »

7 et 8 mars 2013, Meudon.

Colloque organisé par S.Aykut (Centre Koyré) dans le cadre du projet ENVIGLOB.

Cette conférence internationale faisait suite à l'atelier « controverses climatiques dans les médias » que le GIS Climat avait organisé en septembre 2010 à Paris. Elle avait pour objet de confronter différentes approches théoriques et méthodologiques, afin d'examiner comment chacune de ces démarches peut contribuer à une compréhension plus complète du phénomène, ce qu'elle permet de voir et quels sont ses angles morts. Une synthèse écrite de cette conférence a été publiée.

<http://www.gisclimat.fr/feedback-international-conf%C3%A9rence-dissonant-voices-climate-change-debate>

ATELIER « INDIVIDUAL AND COLLECTIVE REPRESENTATIONS OF CLIMATE CHANGE : INTERDISCIPLINARY PERSPECTIVES »

8 mars 2013 – Meudon

Colloque organisé dans le cadre du projet LINGCLIM.

L'atelier « Représentations individuelles et collectives du changement climatique : perspectives interdisciplinaires » organisé dans le cadre du projet norvégien « *Linguistic representations of climate change discourse and their individual and collective interpretations* » (LINGCLIM) auquel participe le GIS Climat, visait à générer des discussions fructueuses sur les différents types de représentations (linguistique, cognitive, culturelle, sociale) et sur les possibilités de collaborations interdisciplinaires. En effet, ces dernières années, le changement climatique a cessé d'être un phénomène principalement physique pour devenir tout à la fois un phénomène politique, social, culturel et éthique. À l'heure actuelle, les attitudes et les comportements individuels et collectifs constituent un défi tout aussi important que les connaissances scientifiques sur le phénomène lui-même. En cela, les différentes représentations du changement climatique sont cruciales. La compréhension de ces représentations, ce qui contribuerait à l'amélioration des connaissances sur le changement climatique, appellent à l'interdisciplinarité.

<http://www.gisclimat.fr/feedback-workshop-individual-and-collective-representations-climate-change-interdisciplinary>

SÉMINAIRE « SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES. DE QUEL SERVICE PARLE-T-ON ? APPORT DES SHS ? »

30 mai 2013, Paris

Colloque organisé dans le cadre du projet CCTV2.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/s%C3%A9minaire-services-%C3%A9cosyst%C3%A9miques-de-quel-service-parle-t-apport-des-shs>

ATELIER CLIMECOL « DU CLIMAT À L'ÉCOLOGIE, UN DIALOGUE ENTRE COMMUNAUTÉS »

12 et 13 novembre 2013, Meudon.

Colloque organisé dans le cadre du projet HUMBOLDT.

Cet atelier visait à renforcer les liens entre écologues et climatologues et à créer des collaborations au-delà de l'actuelle relation fournisseur-utilisateur. Le premier jour était dédié aux discussions sur l'harmonisation des objectifs des services climatiques et des besoins de la communauté des modélisateurs écologues. Le deuxième jour était consacré au dialogue interdisciplinaire impliquant les questions scientifiques que climatologues et écologues peuvent se poser ensemble, tel que les interactions entre la dynamique des écosystèmes et le fonctionnement du climat régional. Une partie de la discussion concernait aussi des questions techniques liées à l'usage des données climatiques à fine échelle et du couplage dynamique entre des modèles d'écosystèmes terrestres et climatiques.

<http://www.gisclimat.fr/compte-rendu-des-discussions-de-l%E2%80%99atelier-climecol-du-climat-%C3%A0-l%C3%A9cologie-un-dialogue-entre>

ATELIER « KNOWLEDGE, BELIEFS, REPRESENTATIONS IN UNDERSTANDING CLIMATE ISSUES »

29 novembre 2013 – Meudon

Atelier co-organisé par le GIS Climat AM.Lammel (Paragraphe).

L'objectif de cet atelier européen était d'étudier, dans une perspective interdisciplinaire, le rôle des connaissances, croyances et représentations complexes des phénomènes climatiques dans les capacités d'adaptation à ces changements. L'atelier a permis de poursuivre le travail d'élaboration des bases d'un futur réseau de recherche qui a débuté lors du séminaire du 8 mars 2013 « Représentations individuelles et collectives du changement climatique : perspectives interdisciplinaires », organisé dans le cadre du projet norvégien « *Linguistic representations of climate change discourse and their individual and collective interpretations* » (LINGCLIM) auquel participe le GIS Climat.

<http://www.gisclimat.fr/feedback-workshop-knowledge-beliefs-representations-understanding-climate-issues>

JOURNÉE SCIENTIFIQUE 2013 « LA PERCEPTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE » - SOCIÉTÉ MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE

3 décembre 2013, Paris

Journée organisée par SMF.

Suite aux journées qu'il a organisées sur les représentations, le GIS Climat a été sollicité pour participer au comité scientifique pour l'élaboration du programme de la journée

organisée par la Société météorologique de France (SMF) en 2013. L'objectif de cette journée était de construire une réflexion collective associant sciences du climat et sciences sociales autour de la perception du changement climatique et de son impact sur le déploiement de stratégies d'adaptation.

JOURNÉES D'ÉTUDE SUR LE THÈME DE LA GOUVERNANCE DES NATURES URBAINES

5 et 6 décembre 2013, Paris.

Colloque organisé dans le cadre du projet CCTV2.

Dans le cadre de la clôture des programmes de recherches CCTV2 et « Analyse des modalités de gouvernance initiées lors de la mise en place d'une politique de trame verte et bleue en milieu urbain par des collectivités », le LADYSS organisait, avec le soutien du GIS Climat, deux journées d'étude sur le thème de la gouvernance des natures urbaines. Ces journées avaient pour objet de mettre en évidence les difficultés associées à la gouvernance des écosystèmes urbains, partant des mises en place des trames vertes urbaines et du lien entre les politiques de la biodiversité et du climat.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/journ%C3%A9es-d%E2%80%99%C3%A9tude-sur-le-th%C3%A8me-de-la-gouvernance-des-natures-urbaines>

ATELIER « EXTREME VALUE THEORY AND RISK ASSESSMENT IN CLIMATE SCIENCES »

15 - 19 décembre 2013, Aussois.

Colloque organisé dans le cadre du projet PEPER.

Les principaux objectifs étaient de présenter les résultats du projet PEPER et de consolider et développer les liens entre les trois communautés scientifiques impliquées dans le projet : mathématiques/statistiques – climat – économie/assurance.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/workshop-extreme-value-theory-and-risk-assessment-climate-sciences>

2014

SESSION ORGANISÉE PAR LE GIS CLIMAT À LA 14^{ÈME} CONFÉRENCE NCSE À WASHINGTON

28 – 30 janvier 2014 – Washington

Session co-organisée par le GIS Climat et l'Ambassade de France à Washington.

Le GIS Climat a organisé, en collaboration avec l'Ambassade de France à Washington, l'une des vingt-

quatre sessions de la conférence annuelle 2014 du *National Council for Science and the Environment* intitulée « *Building solutions* ». L'objectif de cette session franco-américano-canadienne (symposium et atelier) était de mobiliser chercheurs, décideurs publics et professionnels du secteur pour établir un cadre dans lequel mieux utiliser les connaissances scientifiques dans la gestion des métropoles (conception et évolution à long terme des écosystèmes, atténuation du changement climatique, résilience en milieu urbain). Les discussions entre experts et les échanges avec le public ont permis de proposer un certain nombre de conclusions et recommandations.

<http://www.gisclimat.fr/bilan-de-la-session-organisée-par-le-gis-climat-à-la-14ème-conférence-ncse-à-washington>

ÉVALUATION DE L'IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE DANS UN CLIMAT CHANGEANT

06 mars 2014, Paris.

Colloque organisé dans le cadre du projet ACHIA.

Changement climatique et pollution de l'air et santé sont intimement liés : prendre en compte la dimension sanitaire de politiques visant à améliorer la qualité de l'air et à atténuer le changement climatique apparaît aujourd'hui essentiel. Le projet AC-HIA a couplé les outils de modélisation de l'air, du climat et des évaluations d'impacts sanitaires pour estimer les bénéfices pouvant être attendus dans les prochaines années (2030 et 2050) pour différents scénarios d'émissions polluantes.

Cette journée présentait les résultats majeurs obtenus aux échelles mondiale, européenne et régionale.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/evaluation-de-l'impact-sanitaire-de-la-pollution-atmosphérique-dans-un>

SESSION « THE COMPLEX ROLE OF CLIMATE AND LAND SYSTEM CHANGES IN HEALTH AND INFECTIOUS DISEASES » - GLOBAL LAND PROJECT 2ND OPEN SCIENCE MEETING.

Du 19 au 21 mars 2014, Berlin

Session co-organisée par le GIS Climat et S.Morand (ISEM).

Suite à ses travaux sur l'écologie de la santé, le GIS Climat a organisé une session, dans le cadre de la conférence du Global Land Project (GLP) à Berlin en mars 2014, où des scientifiques de domaines variés, en particulier écologues et géographes, ont débattu des relations dynamiques entre environnement, humains et pathogènes à travers le prisme des changements du climat et de l'occupation et utilisation des terres.

CONFÉRENCE « L'HYPOTHÈSE + 4° - MONDE VIVANT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'ISSUE DU RAPPORT DU GIEC »

2 avril 2014, Paris

Conférence organisée par J.Weber.

Conférence organisée par Jacques Weber avec OREE, parrainée par le GIS Climat, au cours de laquelle climatologues, écologues et économistes ont tenté de dresser le tableau d'un monde vivant sous un réchauffement de la planète de 4°C. Les origines de ce réchauffement ont été évoquées ainsi que les mesures à prendre pour que les générations futures n'aient pas à affronter une telle hypothèse.

http://www.lespetitsdebrouillards.org/Media/prods/prod_9/

SÉMINAIRE « EVALUATING THE IMPACT OF RISING FERTILIZER PRICES ON CROP YIELDS »

14 avril 2014, Paris

Séminaire organisé dans le cadre du projet ACCACYA.

Séminaire de restitution des résultats du projet ACCACYA sur la question du prix des engrais (projection à 2050 et impact sur l'intensification).

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/seminaire-evaluating-impact-rising-fertilizer-prices-crop-yields>

ATELIER DE BILAN ET DE PROSPECTIVE DU GIS CLIMAT

8 juillet 2014, Nogent-sur-Marne

Atelier organisé par le GIS Climat.

Les objectifs de cet atelier étaient d'une part, de tirer collectivement un premier bilan des apports du GIS Climat depuis sa création et d'autre part, de débattre des suites possibles, à plus ou moins long terme, du « concept » GIS Climat en mettant l'accent sur les attentes et besoins des collègues présents (un questionnaire a été envoyé aux chercheurs qui n'ont pas pu participer à la réunion pour mieux appréhender ces attentes et besoins). L'atelier a rassemblé environ une vingtaine de participants de différentes disciplines (climat, écologie, sciences humaines et sociales) impliqués dans le GIS Climat à divers titres (membres du comité d'orientation, porteurs de projets, collègues non-membres du GIS Climat ayant coopéré avec le groupement).

CONFÉRENCE INTERNATIONALE « CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SANTÉ »

2 et 3 octobre 2014, Meudon

Conférence co-organisée par le GIS Climat et S.Morand (ISEM).

Stress thermiques, problèmes respiratoires, allergies, infections bactériennes et/ou virales, cancers de la

peau ... multiples sont les pathologies susceptibles d'évoluer ou d'émerger avec le CC dans leur répartition spatiale et temporelle, leur incidence et leur intensité. Ces pathologies peuvent résulter de la conjonction de phénomènes climatiques - violents ou trop répétés - avec d'autres facteurs, qui mettent l'organisme dans une situation transitoire ou permanente de vulnérabilité. Il peut s'agir de l'influence directe de facteurs, telle que la température, sur l'organisme humain qui, lors d'épisodes extrêmes, ont des conséquences parfois tragiques comme en témoigne la hausse des taux de mortalité lors des fortes canicules ou des vagues de froid. Mais bien souvent, les menaces sanitaires sont liées aux modifications des milieux : dégradations potentielles de la qualité de l'air (pollutions atmosphériques, pollens, rayonnement ultraviolet ...), modification de biodiversité et de l'usage des terres, conditions écologiques favorisant la survie et la multiplication de microorganismes pathogènes, ou les vecteurs de ces microorganismes, susceptibles de transmettre des maladies infectieuses ou parasitaires variées. L'objectif de la conférence était d'aborder ces différents aspects à travers des interventions théoriques, méthodologiques et programmatiques sous forme d'exposés et de table ronde. Trois grands axes ont été traités : impacts directs du changement climatique, impacts via la composition de l'air et maladies infectieuses.

Les actes de cette conférence ont été publiés (<http://www.gisclimat.fr/parution-des-actes-du-colloque-changement-climatique-et-santé>).

<http://www.gisclimat.fr/bilan-de-la-conf%C3%A9rence-internationale-changement-climatique-et-sant%C3%A9>

ATELIER INTERNATIONAL « CLIMATE CHANGE, HEALTH AND INFECTIOUS DISEASES: TOWARDS AN ECOSYSTEM APPROACH »

03 octobre 2014, Meudon, France

Atelier organisé par S.Morand (ISEM).

L'objectif de cet atelier était d'abord de recenser les connaissances encore limitées sur les relations entre changement climatiques et maladies infectieuses, qu'elles touchent les êtres humains, les animaux ou les végétaux, puis de faire une analyse critique des modèles développés en santé publique, animale ou végétale et enfin, d'envisager de nouvelles approches de modèles climat/écosystème/santé pour : (i) faciliter le dialogue entre climatologues et chercheurs dans le domaine de la santé via la mise en place d'un cadre écosystémique commun qui fasse écho au concept *One Health*, promu par les agences de santé nationales et internationales (ii) faciliter le dialogue entre politiques, parties prenantes et scientifiques grâce à des scénarios d'occupation des sols régionaux et locaux. Enfin,

l'atelier était l'occasion de discuter d'une note, qui servira de base conceptuelle pour l'élaboration de projets qui pourraient être proposés dans le cadre de programmes de recherche internationaux tels que le programme européen Horizon 2020.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/international-workshop-climate-change-health-and-infectious-diseases>

CONFÉRENCE INTERNATIONALE « NEW PERSPECTIVES ON GLOBAL ENVIRONMENTAL IMAGES »

9 et 10 octobre 2014, Meudon.

Conférence organisée par S.Grevsmühl dans le cadre du projet ENVIGLOB.

La conférence internationale proposait de mobiliser une grande variété de perspectives venant d'un large spectre disciplinaire afin d'analyser les stratégies et les imaginaires liés à la production, la circulation et le pouvoir des images environnementales globales. Des icônes du mouvement environnementaliste en passant par les graphiques d'expert mobilisés par le GIEC jusqu'à l'imagerie satellitaire, les images environnementales globales forment la base sensorielle des processus planétaires qui gouvernent l'« Anthropocène ». Les images participent toutes activement, à des échelles très diverses, à notre interprétation et à notre compréhension aussi bien des changements du système Terre que des conséquences que l'on associe étroitement au changement climatique global. En tant que vrais médiateurs entre différents publics et cultures, entre des processus globaux et des impacts locaux, de nouvelles interrogations sur les images environnementales globales conduisent à une discussion hautement productive des relations complexes entre la science, la société, la politique et la nature.

Les actes de cette conférence ont été publiés (<https://www.gisclimat.fr/actes-de-la-conférence-internationale-images-environnementales-globales-nouvelles-perspectives>).

<http://www.gisclimat.fr/feedback-international-conference-new-perspectives-global-environmental-images>

ATELIER « LE CHANGEMENT CLIMATIQUE INDUIT-IL UNE AGGRAVATION DES MALADIES INFECTIEUSES ÉMERGENTES ? »

27 et 28 octobre 2014, Lyon

Le GIS Climat a été sollicité pour co-organiser et présider cet atelier lors du colloque national « Santé et « Biodiversité : notre santé dépend-elle de la biodiversité ? ».

<http://sante-biodiversite.vetagro-sup.fr/>

COLLOQUE «(IN)CERTITUDES ET ADAPTATION AU CLIMAT FUTUR»

17 et 18 novembre 2014, Meudon

Colloque co-organisé par le GIS Climat, l'IPSL et l'IDDRI.

Organisé par l'IPSL, l'Iddri et le GIS Climat, ce colloque-débat visait à permettre un débat entre différentes disciplines scientifiques, entre différents types d'acteurs et entre professionnels et étudiants sur le thème des incertitudes et certitudes climatiques dans la perspective de l'adaptation au climat futur.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/colloque-incertitudes-et-adaptation-au-climat-futur>

COLLOQUE GAIÉ 2014 « L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE : UNE OPTION FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE »

15 décembre 2014, Paris

Colloque co-organisé par l'association GAIÉ, le GIS Climat, iEES et Natureparif.

Colloque organisé par l'association Gaié (Groupe des Acteurs de l'Ingénierie Ecologique) avec en collaboration avec le GIS Climat, laboratoire IEES Paris, NatureParif et avec le soutien d'AgroParisTech et de l'ADEME.

En quoi l'ingénierie écologique permet-elle de renouveler nos conceptions de l'aménagement du territoire ? Quel est son potentiel en matière de séquestration du CO₂, de lutte contre les effets de la pollution et du réchauffement, d'économie d'énergie ? Permet-elle de concevoir une réponse intégrative aux interactions entre la crise climatique et les autres crises environnementales, notamment celle de la biodiversité ? Finalement, l'ingénierie écologique traduit-elle ou non l'émergence d'une vision socio-écosystémique du monde ? Telles sont les questions qui ont été mises en débat lors de ce colloque.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/colloque-gaié9-2014-lingénierie-écologique-une-option-face-au-changement>

2015

JOURNÉE INTERNATIONALE D'ÉTUDE SUR LES MÉGA-ÉVÉNEMENTS TRANSNATIONAUX ET LA GOUVERNANCE GLOBALE DE L'ENVIRONNEMENT

06 juillet 2015, Paris.

Journées co-organisées par le GIS Climat et l'Institut francilien recherche innovation société (IFRIS).

Cette journée s'inscrivait dans le cadre du projet ClimaCOP (<http://climacop.hypotheses.org/>) et de la conférence scientifique *Our Common Future Under Climate Change* dans la perspective du

prochain sommet sur le climat organisé à Paris en décembre 2015.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/journée-internationale-d'étude-sur-les-méga-événements-transnationaux-et>

SIDE EVENT À LA CONFÉRENCE OUR COMMON FUTURE UNDER CLIMATE CHANGE : CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SANTÉ

6 juillet 2015, Paris.

Le GIS Climat, représenté par Sylvie Joussaume, faisait partie du conseil scientifique de ce *side event* dont l'objectif était de faire un bilan sur les effets du changement climatique sur la santé et ses interactions possibles avec d'autres facteurs de stress ainsi que sur les tendances de recherche futures. Il incluait deux sessions (« effets critiques sur la santé » et « nouvelles méthodes ») et une table ronde.

<http://www.allenvi.fr/actualites/2015/changement-climatique-et-sante>

SESSION PARALLÈLE À LA CONFÉRENCE OUR COMMON FUTURE UNDER CLIMATE CHANGE : AIR POLLUTION AND CLIMATE CHANGE LINKAGES AND HEALTH IMPACT ASSESSMENT

7 juillet 2015, Paris.

Session en lien avec le projet ACHIA et organisée par l'équipe du projet.

L'objectif de cette session était de faire un point sur l'état des connaissances concernant les liens entre qualité de l'air et changement climatique. Une attention particulière a été accordée à la façon dont la qualité de l'air et la santé pouvaient être directement touchées par les politiques qui visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre et comment les modifications de la qualité de l'air, du fait du changement climatique, pouvaient avoir des implications importantes pour la santé humaine, en particulier dans les villes où l'urbanisation et les îlots de chaleur aggravent les problèmes de qualité de l'air.

<http://www.commonfuture-paris2015.org/Programme/Parallel-Sessions/Parallel-Sessions-Day-1.htm>

SESSION PARALLÈLE À LA CONFÉRENCE OUR COMMON FUTURE UNDER CLIMATE CHANGE : HEALTH AND CLIMATE CHANGE : THE NEED FOR A DIVERSITY OF APPROACHES

8 juillet 2015, Paris.

Session organisée par S.Joussaume, S.Morand et P.Saiag.

Le but de cette session était d'illustrer les diverses approches traitant du lien complexe entre changement climatique et santé.

<http://www.commonfuture-paris2015.org/Programme/Parallel-Sessions/Parallel-Sessions-Day-2.htm>

SOIRÉE-DÉBAT « TRANSITIONS URBAINES AU PRISME DU CHANGEMENT CLIMATIQUE »

9 juillet 2015, Paris, France

Soirée co-organisée par la GIS Climat, le réseau mondial de recherche sur les villes face au changement climatique (UCCRN), la ville de Paris, l'Atelier international du Grand Paris, l'Agence parisienne du climat, et la Caisse des dépôts.

Dans sa conférence introductive, Cynthia Rosenzweig, co-directrice de l'UCCRN, a explicité le rôle central des villes dans la lutte contre le changement climatique. Elle a évoqué comment le réseau mondial de recherche sur les villes face au changement climatique - dont la plateforme européenne sera lancée durant la COP 21 - contribuait au dialogue entre acteurs de la ville et scientifiques pour mettre en œuvre des solutions innovantes et efficaces pour adapter les villes à la transition écologique.

Une table ronde présentait les regards croisés sur la mobilisation des acteurs, l'accompagnement au changement et le développement d'une architecture et d'un urbanisme de la transition écologique. Des représentants du réseau mondial de recherche sur les villes face au changement climatique (UCCRN), de la ville de Paris, de l'Atelier international du Grand Paris, de l'Agence parisienne du climat, de la Caisse des dépôts et consignations, du Groupement d'intérêt scientifique climat-environnement-société, du CNRS, et de l'Université Pierre et Marie Curie, ont présenté leurs points de vue en se basant sur des cas concrets. La focale a été mise sur les liens entre la recherche et l'action.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/soir%C3%A9e-d%C3%A9bat-transitions-urbaines-au-prisme-du-changement-climatique>

SESSION PARALLÈLE À LA CONFÉRENCE OUR COMMON FUTURE UNDER CLIMATE CHANGE : CLIMATE SCIENCE IN THE PUBLIC SPHERE. MEDIA COVERAGE AND COMMUNICATION DEVICES ANALYSIS FOR EFFECTIVE POLICY IMPLEMENTATION

10 juillet 2015, Paris.

Le but de cette session était de comprendre comment les connaissances des sciences du climat sont perçues dans les sphères publiques nationale et transnationale.

<http://www.commonfuture-paris2015.org/Programme/Parallel-Sessions/Parallel-Sessions-Day-4.htm>

CONFÉRENCE « CLIMAT : LA NATURE SOURCE DE SOLUTIONS EN ÎLE-DE-FRANCE »

29 et 30 septembre 2015, Paris.

Conférence organisée Natureparif, le GIS Climat et l'Agence de l'eau Seine Normandie.

En route vers la COP 21, Natureparif, le GIS Climat-Environnement-Société et l'Agence de l'eau Seine Normandie réunissaient des chercheurs, des gestionnaires et des praticiens pour réfléchir aux

solutions fondées sur la préservation, la restauration ou la création d'écosystèmes dans le but d'atténuer le changement climatique et s'adapter à ses effets.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/climat-la-nature-source-de-solutions-en-ile-de-france>

COLLOQUE FINAL DU GIS CLIMAT

2 novembre 2015

Conférence organisée par le GIS Climat

Le GIS Climat a organisé un colloque d'une journée pour présenter les travaux réalisés depuis sa création. Il était organisé autour de synthèses des travaux et d'illustrations de faits marquants. Ce colloque a été aussi l'occasion de réunir les membres du comité scientifique du GIS Climat.

<http://www.gisclimat.fr/manifestation-scientifique/colloque-approches-interdisciplinaires-du-changement-climatique>

CONGRÈS « CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SANTÉ : QUELLE(S) ADAPTATION(S) ? »

24 et 25 novembre 2015

Congrès organisé par la SFSE.

La Société française de santé environnement (SFSE) a organisé, en novembre 2015, son congrès annuel sur le thème du changement climatique, en marge de la conférence Paris Climat (COP21). Elle a sollicité le GIS Climat pour faire partie de son comité scientifique.

http://www.sfse.org/FR/congres/congres_2015.asp

COLLOQUE « LA RÉSILIENCE MÉTROPOLITAINE PEUT-ELLE SE CONCEVOIR PAR L'AMÉNAGEMENT ? »

26 et 27 novembre 2015, Paris et Marne la Vallée

Colloque co-organisé avec l'Atelier international du Grand Paris, le LABEX futurs-urbains et le département génie urbain de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée.

Les débats se sont centrés sur le concept de résilience dans le champ de l'aménagement et de l'urbanisme dont la diversité engendre des traductions et des mises en œuvre qui font débat. Ils ont réuni des chercheurs et des urbanistes et ont interrogé la résilience urbaine à travers la question du lien, du flux, de la connexion.

Annexe n°5

Les projets du GIS Climat en partenariat national et international

BASE DE DONNÉES « PROJETS DE RECHERCHE SUR L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE » EN PARTENARIAT AVEC L'ONERC

En collaboration avec l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), le GIS Climat a lancé une base de données recensant des projets de recherche sur l'adaptation au changement climatique. Y figurent les laboratoires impliqués, les thèmes abordés et, dans la plupart des cas, il est possible d'accéder aux documents présentant les résultats. L'interrogation de la base peut être affinée par thématiques, zones géographiques, milieux concernés par le projet.

<http://bddrecherche.gisclimat.fr/fr/recherche-libre-projets-gis>

L'INITIATIVE « APPROCHE TERRITORIALE DU CHANGEMENT GLOBAL : PARTENARIAT DE SERVICES SCIENTIFIQUES ET DE PARTAGE DES SAVOIRS » (TASK, POUR TERRITORIAL APPROACH TO GLOBAL CHANGE SCIENTIFIC SERVICES AND KNOWLEDGE SHARING PARTNERSHIP)

Le GIS a soutenu et participé à l'élaboration conceptuelle d'une initiative internationale destinée à renforcer l'interface science, politique et société civile pour la prise de décision vis-à-vis des défis du changement global, en particulier climatique, dans les pays en développement (PED). TASK représente une expérience de valorisation des savoirs scientifiques et l'occasion de participer à l'innovation en matière d'environnement et de gestion des ressources naturelles. Elle constitue un outil pour l'articulation entre les besoins de compétences scientifiques les plus pointues des PED et l'accès à des réseaux d'équipes de recherche du monde entier habituées à travailler en coopération. Elle s'appuie sur des coopérations à long terme établies dans des territoires de référence où les organismes de recherche se sont investis de longue date. A l'heure actuelle, la mise en place de TASK se fait plus particulièrement à l'IRD.

Le concept du partenariat TASK a été présenté à l'occasion du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro, Brésil, en juin 2012.

ATELIERS « CHANGEMENT CLIMATIQUE, ÉCOSYSTÈMES ET MALADIES INFECTIEUSES »

Pour élargir sa réflexion autour des effets du changement climatique sur la santé au-delà de la seule dimension clinique, le GIS Climat a organisé, en collaboration avec Serge Morand, une série de trois ateliers sur trois ans dont l'objectif principal était de poser les principes conceptuels pour la réalisation de scénarios couplés santé-climat, basés sur les liens complexes entre changement climatique, écosystèmes et maladies infectieuses. L'article issu de ces ateliers va paraître dans un prochain numéro spécial de la revue *Environmental Microbiology*. Une table-ronde sur la même problématique a été organisée en 2014 lors du *Global Land Project Open Science Meeting* (Berlin, 19 – 21 mars 2014).

Dans le même temps, une expérimentation sur le sujet a été lancée avec le projet CLIMVIB (Climat et dynamique des *Vibrio* pathogènes humains dans les systèmes marins côtiers français).

COLLABORATION AVEC LES ÉTATS UNIS SUR LA SANTÉ PUBLIQUE

Suite à la collaboration développée avec Patric Kinney de l'Université de Columbia (New York), spécialiste de santé publique, et l'InVS, une collaboration s'est développée avec Robert Vautard sur le thème de la mortalité en période de froid, incluant également la Harvard School of Environmental Health. Deux publications ont vu le jour suite à cette collaboration.

Lee et al.: **Acclimatization across space and time in the effects of temperature on mortality: a time-series analysis**, *Environmental Health*, 2014, 13:89, doi:10.1186/1476-069X-13-89.

Patrick L Kinney et al, **Winter season mortality: will climate warming bring benefits?** 2015, *Environ. Res. Lett.*, 10 064016, <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/6/064016>.

PARTICIPATION À LA REVUE GOUVERNEMENTALE DU GIEC

Outre la contribution de plusieurs chercheurs du GIS Climat à la rédaction des rapports des trois groupes du GIEC, l'équipe de direction du GIS Climat a été sollicitée pour participer à la revue gouvernementale du rapport aux décideurs pour le groupe 2 (S. Joussaume et C. Pacteau) et le groupe 3 (S. Joussaume).

Par ailleurs, S. Joussaume a participé à l'atelier presse organisé par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) le 9 septembre 2014 pour présenter le rapport du groupe 2.

SOMMET MONDIAL DES VILLES DURABLES DE NANTES

Le GIS Climat, représenté par Chantal Pacteau, était membre du Conseil d'orientation stratégique pour l'organisation de ce Sommet qui s'est tenu à Nantes en septembre 2013 (Ecocity2013). Plusieurs des scientifiques du GIS Climat ont animé des tables-rondes durant cet événement.

PROJET INTERNATIONAL « L'ÉPIDERME AÉRIEN DES VILLES AU REGARD DE LA QUESTION DE L'ÉNERGIE... »

Initié en 2012, le projet « L'épiderme aérien des villes au regard de la question de l'énergie et des modes de vie : prospective des formes et des stratégies architecturales et urbaines. Learning from Chicago, Montréal, Paris », piloté à partir de l'Université du Québec à Montréal, était soutenu par le programme français de recherche « *Ignis mutat res. Penser l'architecture, la ville et les paysages au prisme de l'énergie* », du ministère de la Culture et de la Communication, en partenariat avec le MEDDE et l'Atelier international du Grand Paris. Outre la volonté de faire travailler ensemble des scientifiques de différents domaines de recherche (architecture, sciences du climat, ingénierie écologique, urbanisme, sociologie...) sur les villes de Chicago, Montréal et Paris pour construire une approche intégrée sur la question des toits, la démarche visait aussi à collaborer avec les professionnels de la ville et les élus. Dans le projet, le GIS Climat a étudié la question des services écologiques au regard de la réduction des gaz à effet de serre, de l'atténuation de l'îlot de chaleur, ou encore de la sobriété énergétique des bâtiments. Outre des publications dans des ouvrages tant scientifiques que professionnels, ce programme a donné lieu à différents événements.

SECOND UCCRN ASSESSMENT REPORT ON CLIMATE CHANGE AND CITIES (ARC3-2)

Le GIS Climat a été contacté pour contribuer au deuxième rapport porté par l'Urban Climate Change Research Network (UCCRN) - qui sera publié fin 2015 à Cambridge University Press - et faciliter la participation d'autres chercheurs français.

Chantal Pacteau est responsable du chapitre Mitigation and Adaptation (M&A): Barriers, Bridges and Co-benefits et Luc Abbadie est auteur dans le chapitre Green infrastructure.

COLLABORATION SUR LES REPRÉSENTATIONS ET LA MÉDIATION DANS LE CADRE DU PROJET NORVÉGIEN LINGCLIM

Le GIS Climat participe au projet LINGCLIM (*Linguistic representations of climate change discourse and their individual and collective interpretations*), dirigé par Kjersti Fløttum, professeure à l'Université de Bergen. L'objectif de ce projet est de contribuer à une meilleure compréhension des enjeux liés au changement climatique, par une approche visant à intégrer représentations individuelles et collectives, du point de vue linguistique, cognitif et socio-culturel. En tant que chercheuse invitée, Chantal Pacteau y apporte son expertise dans le domaine des sciences cognitives.

RÉSEAU EUROPÉEN ECCO : EUROPEAN CLIMATE COMMUNICATIONS OFFICERS

Le GIS a été contacté pour participer au réseau européen ECCO (*European Climate Communications Officers*). Ce réseau avait pour objectif d'aider la communauté scientifique européenne, en particulier grâce aux responsables communication de ses institutions, à se préparer pour présenter les résultats du 5^{ème} rapport du GIEC. Il s'agissait de mieux faire comprendre aux experts ce que sont, par exemple, les mécanismes de communication, les stratégies médiatiques et la diversité des groupes de pression, pour éviter autant se faire que peu le type d'attaques auquel a été confronté la communauté ces dernières années. Le GIS Climat souhaite contribuer, par son expérience, au renforcement du dialogue sciences-société.

Annexe n°6

Les publications des projets du GIS Climat

Le sigle **PI** indique que la publication est interdisciplinaire, réalisée par des auteurs de différentes disciplines.

ACCACYA

Brunelle, T., Dumas, P., and Souty, F., 2014, **The impact of globalization on food and agriculture : the case of the diet convergence**, *The Journal of Environment & Development*.

Cet article démontre, à partir de quatre scénarios de consommation alimentaire représentatifs, l'importance de la convergence des régimes alimentaires comme facteur de tensions sur les usages des sols. Les interactions entre le scénario alimentaire et les autres politiques affectant les usages des sols - soutien aux biocarburants et réduction de la déforestation - sont aussi mises en lumière, et certaines options permettant de réduire les tensions sur la ressource foncière testées.

PI Gasser, T., Ciais, P., 2013, **A theoretical framework for the net land-to-atmosphere CO₂ flux and its implications in the definition of emissions from land-use change**, *Earth System Dynamics* 4, 171–186.

Cet article développe un cadre théorique d'analyse des flux nets de CO₂ entre la terre et l'atmosphère afin de discuter les définitions possibles des « émissions du changement d'usages des sols ».

PI Ciais, P., Gasser, T., Paris, J.D., Caldeira, K., Raupach, M.R., Canadell, J.G., Patwardhan, A., Friedlingstein, P., Piao, S.L., Gitz, V., 2013, **Attributing the increase of atmospheric CO₂ to emitters and absorbers**, *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate1942.

ACHIA

PI Likhvar, V.N., Pascal, M., Markakis, K., Colette, A., Hauglustaine, D., Valari, M., Klimont, Z., Medina, S., Kinney, P., 2015, **A multi-scale health impact assessment of air pollution over the XXIst century**, *Science of The Total Environment*, Volume 514, 1 May 2015, Pages 439–449.

Cet article résume les résultats du projet ACHIA. Il compare les bénéfices attendus sur la santé de différents scénarios de politiques de réduction des émissions polluantes entre 2010, 2030 et 2050, tout en prenant en compte les évolutions climatiques sur la même période.

ADCEM

PI Agier L, Deroubaix A, Martiny N, Yaka P, Djibo A, Broutin H., 2013, **Seasonality of meningitis in Africa and climate forcing: aerosols stand out**, *J. R. Soc. Interface*, 10: 20120814, <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2012.0814>.

Cette étude vise à définir et à comparer, au niveau des districts, la saisonnalité des méningites bactériennes, du climat et des poussières au Niger par des analyses en ondelettes. Les résultats mettent clairement en évidence les effets de la poussière par rapport au vent, l'humidité ou la température. Combinée à l'hypothèse que la poussière endommage la muqueuse du pharynx et facilite l'invasion des bactéries, cette étude renforce l'hypothèse du rôle des poussières sur la saisonnalité des méningites.

PI A. Deroubaix, N. Martiny, I. Chiapello, B. Marticorena, 2013, **Suitability of OMI aerosol index to reflect surface conditions for studying the impact of mineral dust on health in the Sahel : preliminary application to meningitis epidemics**, *Remote Sens. Environ.*, 133, 116–127, 2013.

Cet article étudie la pertinence des produits aérosol issus de la télédétection (par exemple l'indice d'aérosol absorbant de l'instrument TOMS) pour représenter les concentrations de surface d'aérosol au Burkina Faso, au Mali et au Niger, et donc pour aider à quantifier l'influence des aérosols désertiques sur la santé, et en particulier sur les épidémies de méningite. Les principales conclusions sont que l'OMI-AI est adapté pour les études d'impact de la méningite, tout particulièrement de janvier à mars, sur une base hebdomadaire, permettant une exploitation du début jusqu'au pic des épidémies.

Yahi H., B. Marticorena, S. Thiria, B. Chatenet, C. Schmechtig, J. L. Rajot and M. Crepon, 2013, **Statistical relationship between surface PM10 concentration and aerosol optical depth over the Sahel as a function of weather type using neural network methodology**, *J. Geophys. Res.*, 118, 13265–1328.

Cet article décrit la méthode statistique utilisée pour identifier les « types de temps » au Sahel (Niger, Mali) et leur influence sur la relation entre concentration de surface en aérosols et épaisseur optique en aérosols. Ces deux paramètres sont corrélés de façon significative pour les principaux types de temps du régime d'Harmattan, mais avec des différences de pente liées à des différences de distribution verticale. Cette approche permet de restituer de façon très satisfaisante les concentrations de surface à partir de l'épaisseur optique en aérosol et des conditions météorologiques locales.

AFOCLIM

Michelot A., Simard S., Rathgeber C., Dufrêne E., Damesin C., 2012, **Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics**, *Tree physiology*, 32(8):1033-1045.

Cet article caractérise, chez les trois espèces majeures de la Forêt de Fontainebleau (hêtre, chêne sessile, pin sylvestre), les contrastes de croissance saisonnière du tronc en terme de période, vitesse et durée. Pour toutes les espèces, la croissance totale dépend surtout de la durée de croissance et notamment de la date d'arrêt (plus que de la vitesse). La mobilisation des réserves est plus ou moins marquée selon l'espèce (plus forte chez le chêne), en lien avec la date de débourrement.

Michelot A., Bréda N., Damesin C., Dufrêne E., 2012, **Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest**, *Forest Ecology and Management*, 265:161-171.

Cet article met en évidence les déterminants climatiques de la croissance de trois espèces tempérées majeures (hêtre, chêne sessile et pin sylvestre) par une étude dendroclimatique sur la période 1960-2007 en forêt de Fontainebleau. Pour les trois espèces, la croissance radiale est corrélée aux précipitations entre mai et juin. Toutefois, des sensibilités contrastées apparaissent, la croissance du pin étant sensible aussi aux précipitations tardives (août), celle du hêtre aux températures estivales élevées et celles du chêne aux faibles températures de l'année précédente.

Michelot A., Eglin T., Dufrêne E., Lelarge-Trouverie C., Damesin C., 2011, **Comparison of seasonal variations in water-use efficiency calculated from the carbon isotope composition of tree rings and flux data in a temperate forest**, *Plant Cell and Environment* 34: 230-244.

Cet article améliore notre compréhension de la signification fonctionnelle du $\delta^{13}C$ (composition isotopique en ^{13}C) mesuré dans les cernes. Il montre que, chez le chêne sessile, le $\delta^{13}C$ intra cerne mesuré sur le bois final peut être utilisé comme un enregistrement saisonnier des variations d'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE). Une importante variabilité interindividuelle des amplitudes de variations du $\delta^{13}C$ dans le cerne a été reliée au degré de compétition subi par l'arbre.

CARBOSOIL

PI Cardinael, R., Eglin, T., Neill, C., Houot, S. and Chenu, C., 2015, **Is priming effect a significant process for long-term SOC dynamics? Analysis of a 52-years old experiment**, *Biogeochemistry*, 123, 203-219 DOI 10.1007/s10533-014-0063-2

Menichetti, L., Houot, S., van Oort, F., Katterer, T., Christensen, B.T., Chenu, C., Barre, P., Vasilyeva, N.A. & Ekblad, A., 2015, **Increase in soil stable carbon isotope ratio relates to loss of organic**

carbon: results from five long-term bare fallow experiments, *Oecologia*, 177, 811-821.

Lefevre R., Barré P., Moyano F., Christensen B.T., Katterer T., Houot S., van Oort F., Chenu C. 2014, **Higher temperature sensitivity for stable than for labile soil organic carbon– Evidence from incubations of long-term bare fallow soils**, *Global Change Biology*, 20, 633–640

PI Guenet, B., Eglin, T., Vasilyeva, N., Peylin, P., Ciais, P., Chenu, C., 2013, **The relative importance of decomposition and transport mechanisms in accounting for C profiles**, *Biogeosciences* 10, 2379-2392

Hamdi, S., Moyano, F., Sall, S., Bernoux, M., Chevallier, T., 2013, **Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions**, *Soil Biology & Biochemistry*, 58, 115-126.

Moyano, F., Manzoni, S., Chenu, C., 2013, **Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models (review)**, *Soil Biology & Biochemistry* 59, 72-85.

Virto I., Barré P., Burlot A., and Chenu C., 2012, **Carbon input differences explain the variability in soil organic C storage of no-tilled compared to inversion tilled agrosystems**, *Biogeochemistry*, 108, 17–26, DOI: 10.1007/s10533-011-9600-4.

Moyano, F. E., Vasilyeva, N., Bouckaert, L., Cook, F., Craine, J., Curiel Yuste, J., Don, A., Epron, D., Formanek, P., Franzluebbers, A., Ilstedt, U., Kätterer, T., Orchard, V., Reichstein, M., Rey, A., Ruamps, L., Subke, J.A., Thomsen, I.K., Chenu, C., 2012, **The Moisture Response of Soil Heterotrophic Respiration: Interaction with Soil Properties**, *Biogeosciences*, 9, 1173-1182, doi:10.5194/bg-9-1173-2012

Barré, P., T. Eglin, B.T. Christensen, P. Ciais, S. Houot, T. Kätterer, F. van Oort, P. Peylin, P.R. Poulton, V.Romanenkov, C.Chenu, 2011, **Long-term bare fallow experiments offer new opportunities for the study of stable carbon in soil**, *Agrochimia*, 12, p.28-36.

PI Eglin, T., Ciais, P., Piao, S. L., Barré, P., Belassen, V., Cadule, P., Chenu, C., Gasser, T., Reichstein, M. and Smith, P., 2011, **Overview on Response of Global Soil Carbon Pools to Climate and Land-Use Changes, in Sustaining Soil Productivity in Response to Global Climate Change**, *Science, Policy, and Ethics* (eds T. J. Sauer, J. M. Norman and M. V. K. Sivakumar), Wiley-Blackwell, Oxford, UK. doi:10.1002/9780470960257.ch13.

PI Barré P., Eglin T., Christensen, B.T., Ciais, P., Houot, S., Kätterer, T., van Oort, F., Peylin, P., Poulton, P.R., Romanenkov, V., and Chenu, C., 2010, **Quantifying and isolating stable soil organic carbon through long-term bare fallow experiments**, *Biogeosciences*, 7, 3839–3850, doi:10.5194/bg-7-3839-2010.

PI Eglin T., Ciais, P., Piao, S.L., Barré, P., Bellassen, V., Koven, C., Cadule, P., Chenu, C., Gasser, T., Reichstein M. and Smith, P., 2010, **Historical and future perspectives of global soil carbon response to climate and land-use changes**, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 62:5, 700–718.

CCTV 2

Boudes, Ph., 2012, **L'impact des trames vertes et de la végétalisation des villes sur l'adaptation des systèmes urbains aux changements climatiques. Une analyse de la littérature scientifique**, *Climatologie*, numéro spécial : Climats et changement climatique dans les villes, du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation, p. 65-82.

Cet article présente une part des travaux de CCTV1 et introduit aux thématiques de CCTV2. En effet, l'auteur établit d'abord que la relation climat-végétation en ville est un enjeu contemporain, de plus en plus abordé, quoique de manière partielle et éclatée, dans la littérature scientifique ; il détaille l'impact de la végétation sur les villes du point de vue climatique ; et ce faisant il rappelle la nécessité de fédérer des recherches intégrées sur ces thèmes. Rappelant aussi que l'auteur est un chercheur en SHS, cet article en appelle à des croisements entre disciplines.

PI Boudes, Ph. et Colombert M. (eds.), 2012, *Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires*, Éditions Vertig'O, 238 p. (également disponible en ligne, www.vertigo.com).

PI Colombert, M. et Boudes Ph., 2012, **Adaptation aux changements climatiques et trames vertes urbaines. Propos introductifs**, in Ph. Boudes et M. Colombert (dir.), *Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires*, Éditions Vertig'O, pp. 13-28.

Cet ouvrage et cette introduction rassemblent et présentent des contributions d'auteurs reconnus en sciences de l'atmosphère, sciences des écosystèmes et SHS. Ils rappellent les liens existants entre l'atmosphère urbaine et la végétation des villes, la complexité de ces phénomènes et la nécessité de faire collaborer les disciplines ensemble sur ces questions. Cet ouvrage est un point de référence dans la reconnaissance d'un champ de recherche mobilisateur.

Boudes, Ph., 2012, **Le sociologue, le climat, les trames vertes et la ville : croisements complexes et féconds** in Ph. Boudes et M. Colombert (dir.),

Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires, Éditions Vertig'O, p. 95-117.

Cet article introduit, d'une part, à des perspectives sociologiques mobilisées par CCTV1 et 2, et, d'autre part, montre comment des travaux en sciences humaines et sociales peuvent embrasser des résultats présentés par d'autres sciences (ici, notamment sur l'impact de la végétalisation des villes sur le climat). Est également rappelé comment ont été différenciées les dimensions normatives, conceptuelles et ontologiques dans le champ de recherche de CCTV.

Rankovic, A., Ch. Pacteau et L. Abbadie, 2012, **Services écosystémiques et adaptation urbaine interscalaire au changement climatique : un essai d'articulation**, in Ph. Boudes et M. Colombert (dir.), *Adaptation climatique et trames vertes urbaines : perspectives interdisciplinaires*, Éditions Vertig'O.

Cet article envisage une approche des liens entre végétation et climat urbain en termes de services écosystémiques et d'adaptation aux changements climatiques. Les auteurs évaluent notamment le recours aux services écosystémiques comme stratégie urbaine d'adaptation au changement climatique, et proposent une revue des services écosystémiques en lien avec l'adaptation urbaine. Cet article s'inscrit ainsi dans l'ambition du programme CCTV2 de rattacher son approche à une lecture en termes de services écosystémiques, comment indiqué dans la présentation des résultats du projet.

Blanc, N., Arrif T., Boudes Ph. & Cormier L., **Transversalité utopique entre aménagement de la ville et conception écologique des trames vertes** in N. Blanc et Ph. Clergeau, *Trames Vertes Urbaines*, Editions du Moniteur, 8p.

La réflexion sur les trames vertes est récurrente dans CCTV. Bien que les chercheurs parlent désormais de végétation et de sol, ou plus généralement du « greening of cities », la réflexion sur les trames vertes est nécessaire car elles font parties des orientations politiques actuelles, au niveau urbain et au niveau régional avec les schémas régionaux de cohérence écologique. L'article contribue ainsi à clarifier l'approche actuelle du végétal et des trames vertes, tout en se tournant ouvertement vers le dialogue avec les politiques.

CLIMVIB

Esteves K., Hervio-Heath D., Mosser T., Rodier C., Tournoud M.-G., Jumas-Bilak E., Colwell R.R., Monfort P. 2015a. **Rapid proliferation of *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* and *Vibrio cholerae* during freshwater flash floods in French Mediterranean coastal lagoons**. *Appl. Environ. Microb.* doi: 10.1128/AEM.01848-15

Esteves K, Mosser T, Aujoulat F, Hervio-Heath D, Monfort P and Jumas-Bilak E, 2015b, **Highly diverse recombining populations of *Vibrio cholerae* and *Vibrio parahaemolyticus* in French Mediterranean coastal lagoons**. *Front. Microbiol.* 6:708. doi: 10.3389/fmicb.2015.00708

Monfort P., Morand S., Lafaye M. 2014a, **Risques microbiologiques et systèmes de surveillance**, in *Environnement : des milieux et des sociétés*, Collection « Mers et Océans », A. Monaco et P. Prouzet, ISTE Editions, London. pp. 131-160. ISBN : 978-1-78405-002-3.

Monfort P., Morand S., Lafaye M. 2014b, **Microbiological coastal risks and monitoring systems. In Vulnerability of coastal ecosystems and adaptation**, *Oceanography and marine biology series – Seas and oceans set*, A. Monaco et P. Prouzet, eds, ISTE Editions, London, and John Wiley & sons Editions, Hoboken. pp. 95-129. ISBN : 978-1-84821-704-1.

DECLIC

Jones, C. et al., 2013, **Twenty-First-Century Compatible CO₂ Emissions and Airborne Fraction Simulated by CMIP5 Earth System Models under Four Representative Concentration Pathways**, *J. Climate*, 26, 4398–4413. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00554.1>

Dans cette publication est présentée l'intercomparaison des émissions compatibles produites par 14 ESMs et pour les 4 RCPs.

Dufresne J-L. et al., 2013, **Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model : from CMIP3 to CMIP5**, *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/S00382-012-1636-1.

Dans cette publication sont présentés les résultats concernant les émissions compatibles pour les différents scénarios RCPs calculées avec le modèle IPSL-CM5A-LR. La comparaison aux émissions produites par les IAMs est aussi discutée.

PI Souty, F., Brunelle, T., Dumas, P., Dorin, B., Ciais, P., Crassous, R., Müller, C., Bondeau, A., 2012, **The Nexus Land-Use model version 1.0, an approach articulating biophysical potentials and economic dynamics to model competition for land-use**, *Geosci. Model Dev.*, 5, 1297-1322, doi:10.5194/gmd-5-1297-2012.

Cet article décrit le modèle Nexus Land-Use et présente des exemples de réalisations.

Guivarch et coll., 2011, **The costs of climate policies in a second best world with labour market imperfections**, *Climate Policy*, 11(1) : 768-788.

This article explores the critical role of labour market imperfections in climate stabilization cost formation, using a dynamic recursive energy—economy model that represents a second-best world with market imperfections and short-run adjustment constraints along a long-term growth path.

Sassi et coll., 2010, **IMACLIM-R: a modelling framework to simulate sustainable development pathways**, *International Journal of Global Environmental Issues*, 0 1/2.

Cet article décrit le cadre d'analyse du modèle économie-énergie-climat IMACLIM-R.

Rozenberg et coll., 2010, **Climate policies as a hedge against the uncertainty on future oil supply**, *Climatic Change*, 101(3).

This paper demonstrates that climate policies can be considered as a hedge against the potential negative impact of oil scarcity on the world economy.

Mathy, S. et Guivarch, C., 2010, **Climate policies in a second-best world - A case study on India**, *Energy Policy*, 38(3).

The aim of this article is to analyze the potential for synergies between climate policies and development in a case study on India focusing on the power sector sub-optimalities.

ENVIGLOB

Comby, JB., Romanet V., 2012, **Un problème réchauffé ? Les changements climatiques dans les médias généralistes 2007-2011**, Rapport de recherche, Institut Français de Presse de l'Université Paris 2 & GIS Climat-Environnement-Société, Paris.

Le point d'interrogation du titre de ce rapport n'est pas innocent. Pour beaucoup, les changements climatiques constituent un problème réchauffé, passé de mode, qui n'intéresse plus grand monde. Pourtant, à rebours de cette interprétation du sens commun, l'examen scientifique de la médiatisation de la question du climat montre que c'est précisément parce qu'elle est parvenue à intéresser les décideurs situés au sommet de l'État que cette question a, en tant que telle, vu sa visibilité médiatique décliner depuis 2007.

EREBUS

PI Correa, M.P. et al., 2013, **Projections for erythemal and vitamin D effective UV doses with respect to the future changes in the total ozone content and aerosol optical properties**, *Photochemical & Photobiological Sciences*, 12, 1053-1064. DOI: 10.1039/C3PP50024A

PI Maleissye, M.F. et al., 2012, **Sunscreen use and melanocytic nevus in children: a systematic review**, *Pediatric Dermatology*, 6, 2012.

PI Mahé, E., et al., 2011, **Outdoor sports and risk of UV-related skin lesions in children: evaluation of risks, and prevention**, *British Journal of Dermatology*, 165, p. 360-367.

HUMBOLDT

PI Stéfanon M, Martin-StPaul NK, Leadley P, Bastin S, Dell'Aquila A, Drobinski P, Gallardo C., 2015, **Testing climate models using an impact model: what are the advantages?**, *Climatic Change* 131:649-661.

This work focuses on the errors inherent in downscaling climate with several regional climate models (RCM) involved in the MedCordex program. It suggests that validation with climate data alone may not be sufficient to evaluate suitability for use in impact modeling, and that careful use of impact models can help to understand and evaluate biases in RCM output. M. Stéphanon was a postdoc on the MORCE-MED project, and is now a postdoc in the LabEx BASC.

PI Ruffault J., et al., 2014, **Projecting future drought in Mediterranean forests: bias correction of climate models matters!**, *Theoretical and Applied Climatology*, July 2014, Volume 117, Issue 1, pp 113-122, DOI 10.1007/s00704-013-0992-z.

This paper examines the use of regional climate models as inputs to models of drought impacts on forests. Comparisons with a dense network of meteorological station data showed that bias correction in temperature, insolation and precipitation was required. Two types of bias correction were tested and found to differ significantly, and therefore that bias correction constitutes an additional uncertainty in modeling climate change impacts. NK Martin-St.Paul was a post-doc in the HUMBOLDT project.

PI Stefanon M, Schindler S, Drobinski P, de Noblet-Ducoudre N, D'Andrea F., 2014, **Simulating the effect of anthropogenic vegetation land cover on heatwave temperatures over central France**, *Climate Research* 60:133-146.

This study illustrates the impact of land cover on regional climate during an extreme event — the 2003 heatwave in France. It shows that land cover effects on regional climate may be non-negligible and may differ between seasons depending on the status of the vegetation and their access to soil water. This work was carried in collaboration between the GIS MORCE-MED and HUMBOLDT projects. M. Stéphanon was a postdoc on the MORCE-MED project, and is now a postdoc in the LabEx BASC.

PI Cheaib A., et al., 2012, **Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty**, *Ecology Letters* 15:533-544 Science «Editor's choice» April 2012.

This paper illustrates the importance of multi-model comparison in evaluating uncertainty in climate change impacts on trees and forests. It used a much broader range of tree models and a more rigorous set of comparisons than in any previous study. This work was initiated in the ANR QDiv project, but substantial new work was carried out with GIS funding, and was coupled with the GIS participation in a science-practitioner-policy maker conference at the French Senate in 2010 entitled «Forêts: enjeux d'avenir». A. Cheaib was a post-doc in the HUMBOLDT project.

Kattge J., et al., 2011, **TRY – a global database of plant traits**, *Global Change Biology*, 17:2905-2935.

This paper lays out the objectives and methods for the creation of a global data base of plant traits. It highlights the potential for use of plant traits in modeling the response of vegetation. Initiated by the IGBP and DIVERSITAS international research programs and the Max Planck Institute in Jena, the GIS provided substantial support for two key meetings to establish and launch the global

database. The database now contains 5.6 million trait records for more than 100,000 plant species. See <https://www.try-db.org/TryWeb/About.php> for more information

MEDICCBIO

Lebeaupin-Brossier C., et al., 2015, **Regional mesoscale air-sea coupling impacts and extreme meteorological events role on the Mediterranean Sea water budget**, *Clim. Dyn.*, 44 (3-4), 1029-1051, DOI : 10.1007/s00382-014-2252-z

Le bilan d'eau en Méditerranée, paramètre clé pour la circulation générale, est étudié à l'aide de 2 simulations océaniques (une forcée et une couplée). Il présente une forte variabilité spatiale et temporelle induite par la topographie, les processus de méso-échelle et les événements intenses qui contribuent significativement à ce bilan. Le rôle des processus couplés sur la redistribution de l'eau à méso-échelle, sur la variabilité saisonnière de l'évaporation (E) et des précipitations (P), ainsi que sur l'intensité et l'occurrence des extrêmes de E et P est mis en évidence.

Guyennon A., et al., 2015, **New insights onto organic carbon export in the Mediterranean Sea from 3-D modeling**, *Biogosciences Discussion*, 12, 6147-6213.

La mer Méditerranée est une région très oligotrophique où les nutriments (phosphates, nitrates) limitent la croissance du phytoplancton et du zooplancton. Cela conditionne fortement le stockage du carbone sous sa forme organique dans le bassin. Un modèle régional à haute résolution de la mer Méditerranée a été utilisé pour étudier le transfert de carbone organique. Il a été montré que le flux de carbone organique vers les masses d'eaux profondes est contrôlé principalement par forme dissoute, et le flux par rapport au transfert associé à la phase organique particulière a pu être quantifié. Ces résultats permettent de mieux comprendre la dynamique du stockage de carbone en mer Méditerranée et d'appréhender la capacité de ce bassin à réagir face aux changements anthropiques.

Lebeaupin-Brossier C., et al., 2013, **Ocean memory effect on the dynamics of coastal heavy precipitation preceded by a mistral event in the northwestern Mediterranean**, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Royal Meteorological Society, 2013, 139 (675), pp.1583-1597. <10.1002/qj.2049> - hal-00769660

MICLIV

Generoso, R., 2015, **Remittances, food security and resilience to rainfall variability : the case of rural Mali**, *Ecological Economics*, 188–198.

Couharde, C., Generoso, R., 2014, **The ambiguous role of remittances in West African countries facing climate variability**, *Environment and Development Economics*.

Geronimi, V. et al., 2013, **Le secteur coton au Mali dans un piège de sous-accumulation ?**, *Mondes en Développement*, Vol 164, p. 13-33.

Lebeaupin Brossier C., et al., 2013, **Ocean Memory Effect on the Dynamics of Coastal Heavy Precipitation Preceded by a Mistral Event in the North-Western Mediterranean**, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, doi:10.1002/qj;2049.

Analysis of an « ocean memory effect » on the dynamics of November 1999 coastal heavy precipitation preceded by a mistral event in the CTL (offline) and WRF/NEMO coupled (MORCE-MED) simulations.

Flaounas E., et al, 2013, **Dynamical Downscaling of IPSL-CM5 CMIP5 Historical Simulations over the Mediterranean: Benefits on the Representation of Regional Cyclogenesis**, *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-012-1606-7.

Evaluation of offline CMIP5-CM downscaling with WRF as a reference for similar simulations performed with MORCE-MED (unfortunately delayed because of too large E - P term over the Mediterranean Sea).

Flaounas E., et al., 2013, **Precipitation and Temperature Space-Time Variability and Extremes in the Mediterranean Region: Evaluation of Dynamical and Statistical Downscaling Methods**, *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-012-1558-y.

Evaluation of offline ERA-Interim downscaling with WRF as a reference for similar simulations performed with MORCE-MED (set of two simulations, CTL and MORCE-MED, performed and compared in other articles).

Drobinski P., et al., 2012, **Modelling the Regional Coupled Earth system (MORCE): Application to Process and Climate Studies in Vulnerable Regions**, *Env. Modelling and Software*, 35, 1-18.

Synthesis of MORCE-MED project: presentation of MORCE-MED version 1 platform.

PI Stéfanon M., et al., 2012, **Effects of Interactive Vegetation Phenology on the 2003 Summer Heat Waves**, *J. Geophys. Res.*, 117, D24103, doi:10.1029/2012JD018187.

Analysis of the effects of interactive vegetation phenology on the 2003 summer heat waves in a CTL (offline) and WRF/ORCHIDEE coupled (MORCE-MED) simulations.

Lebeaupin Brossier C., et al., 2012, **Sensitivity of the North-Western Mediterranean Coastal and Thermohaline Circulations as Simulated by the 1/12° Resolution Oceanic Model NEMO-MED12 to the Space-Time Resolution of the Atmospheric Forcing**, *Ocean Modelling*, 43-44, 94-107

Effect of the atmospheric forcing resolution with WRF on the coastal and thermohaline circulations as simulated with NEMO in the North Western Mediterranean (mandatory preliminary studies before coupling WRF and NEMO).

Lebeaupin Brossier C., et al., 2012, **Ocean Response to Strong Precipitation Events in the Gulf of Lions (North-Western Mediterranean Sea): A Sensitivity Study**, *Ocean Dyn.*, 62, 213-226.

Effect of strong precipitation simulated with WRF at various resolutions on the local thermohaline circulations as simulated with NEMO in the North Western Mediterranean (mandatory preliminary studies before coupling WRF and NEMO).

Stéfanon M., et al, 2012, **Heatwave Classification over Europe and the Mediterranean Region**, *Env. Res. Lett.*, 7, doi:10.1088/1748-9326/7/1/014023.

Analysis of heat wave patterns in the Euro-Mediterranean region and their governing atmospheric/surface processes. Preliminary study for the configuration of the simulations with WRF/ORCHIDEE coupling in MORCE-MED.

Claud C., et al., 2012, **A High Resolution Climatology of Precipitation and Deep Convection over the Mediterranean Region from Operational Satellite Microwave Data: Development and Application to the Evaluation of Model Uncertainties**, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 785-798.

Evaluation of MORCE-MED precipitations over the last 10 years of the ERA-Interim period using AMSU-B/MHS satellite products. C. Lebeaupin-Brossier contract funded by MORCE-MED project.

Lebeaupin Brossier C., et al., 2011, **The Mediterranean Response to Different Space-Time Resolution Atmospheric Forcings using Perpetual Mode Sensitivity Simulations**, *Ocean Modelling*, 36, 1-25.

Lebeaupin Brossier C., Drobinski P., 2009, **Numerical High-Resolution Air-Sea Coupling over the Gulf of Lions during Two Tramontane/Mistral Events**, *J. Geophys. Res.*, 114, D10110, doi:10.1029/2008JD011601.

PASTEK

PI Saqalli M., et al., 2015, **Backward waters, modern waters: perception-based regional. Mapping territory uses and water-related sanitary stakes in Luang Phabang area (Lao PDR)**, *Applied Geography* 60: 184-193.

Cet article examine la pertinence de la PBRM, un outil de cartographie fondée sur les perceptions des parties prenantes, pour évaluer le lien entre l'utilisation des terres et les questions de santé. Il met en évidence le fossé social entre, d'une part, les plaines et vallées à proximité de Luang Phabang qui ont depuis quelques années un accès à l'eau potable, via des réseaux de distribution privés, et aux services de santé, et les zones de montagne restées à l'écart de cette transition.

Causse, J. et al., 2015, **Field and modelling studies of Escherichia coli loads in tropical streams of montane agro-ecosystems**, *Journal of Hydro-*

environment Research, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2015.03.003>

PI Huon, S., et al., 2013, **Long-term soil carbon loss and accumulation in a catchment following the conversion of forest to arable land in northern Laos**, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 169: 43-57.

Cet article combine de nombreuses approches: agronomiques, pédologiques, géochimiques (Césium 137) et géophysiques en vue de reconstituer, à partir de prélèvements effectués dans des fosses d'une zone marécageuse du bassin versant de Houay Pano, l'évolution des pertes en carbone sur les versants (21% en 42 ans), consécutives à la mise en culture depuis le début des années 60 et son accumulation associée au changement de végétation à proximité et dans le cours d'eau.

PI Lestrelin, G., et al., 2012, **Challenging established narratives on soil erosion and shifting cultivation in Laos**, *Natural Resources Forum*, 36, 63-75.

Le discours des autorités laotiennes fait porter à la culture itinérante sur brûlis la responsabilité de la dégradation des terres, mais, comme le perçoivent les paysans, et comme le confirment les mesures de terrain, cette dégradation est surtout due à la réduction de la durée de jachère qui, elle-même, résulte d'une politique gouvernementale de regroupement des populations sur des territoires limités, ce qui conduit à une pénurie des terres allouées à l'agriculture.

Patin, J., et al., 2012, **Analysis of runoff production at the plot scale during a long-term survey of a small agricultural catchment in Lao PDR**, *Journal of Hydrology*, 426-427: 79-92.

L'intensité d'infiltration de l'eau dans les sols, analysée à partir de près de 3 000 données recueillies sur parcelles de ruissellement sous pluie naturelle, diminue depuis les couverts herbacés (110 mm/h), les jachères (74 mm/h), le bananier (37 mm/h) jusqu'au riz pluvial (19 mm/h), au teck sans sous-bois (18 mm/h), au bambou (14 mm/h), et au sol nu (10 mm/h). Le meilleur prédicteur statistique de cette intensité d'infiltration n'est pas la pente mais le pourcentage de croûte superficielle.

Ribolzi O., et al., 2011, **Impact of slope gradient on soil surface features and infiltration on steep slopes in northern Laos**, *Geomorphology*, 127 p.53-63.

Des mesures d'intensité d'infiltration de l'eau, réalisées sur des parcelles travaillées manuellement et soumises à des simulations de pluie, montrent que cette infiltration augmente avec le gradient de pente du fait d'un moindre enroulement superficiel. L'analyse très fine de la microtopographie et des états de surface par micromorphologie sous rayons X, font apparaître des micro-terrasses beaucoup plus perméables et moins sensibles à l'érosion pour des pentes de 75% que pour des pentes de 30%.

Ribolzi O., et al., 2011, **Land use and water quality along a Mekong tributary in Northern Lao P.D.R**, *Environmental Management*, 47 : 291-302. DOI 10.1007/s00267-010-9593-0.

Les mesures de contaminations bactériennes de l'eau le long du Houay Xon (22,4 km²) mettent en évidence des zones de pollutions ponctuelles associées au bétail qui divague près

des rives, aux villages, aux petites industries, mais aussi des pollutions plus diffuses en provenance des bassins versants cultivés. A ces pollutions d'origine anthropique, s'ajoutent de fortes teneurs en métaux (fer, manganèse, sous forme colloïdale), dans les zones marécageuses.

Lacombe G., et al., 2010, **Conflict, migration and land-cover changes in Indochina: a hydrological assessment**, *Ecohydrology*, 3(4):382-391.

Les changements hydrologiques à long terme du Mékong et de ses affluents, notamment l'augmentation de leurs débits, suggèrent que la déforestation induite par la guerre du Viêt-Nam (la plupart des bombardements ont atteint le Laos long de la piste Ho Chi Minh) a des effets hydrologiques plus importants et durables qu'estimé auparavant. Les zones de végétation dégradée correspondent encore à celles des bombardements les plus massifs.

PEPER

Naveau P., et al., in press, **A non-parametric entropy-based approach to detect changes in climate extremes**, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*.

Cet article se concentre principalement sur les températures extrêmes mesurées, sur des durées longues, dans vingt-quatre stations européennes. Les températures moyennes dans cette région s'étant réchauffées au cours du siècle dernier, ce changement se retrouve également dans les extrêmes. Après suppression de cette tendance au réchauffement, la question de déterminer si d'autres changements sont détectables dans ces événements extrêmes est traitée.

Naveau, P., et al., 2014, **A fast nonparametric spatio-temporal regression scheme for generalized Pareto distributed heavy precipitation**, *Water Resour. Res.*, 50, 4011-4017, doi:10.1002/2014WR015431.

Rietsch, T. et al., 2013, **Network design for heavy rainfall analysis**, *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 118(23) :13,075-13,086.

Sabourin, A., Naveau, P., 2013, **Bayesian Dirichlet mixture model for multivariate extremes: a re-parametrization**, *Computational Statistics and Data Analysis*, Elsevier.

Bernard E., et al, 2013, **Clustering of maxima: spatial dependencies among heavy rainfall in France**, *Journal of Climate*, 26(20) :7929- 7937.

Sabourin, A., et al., 2013, **Bayesian model averaging for multivariate extremes**, *Extremes*, p.1-26.

Cooley D., et al, 2012, **Approximating the conditional density given large observed values via a multivariate framework, with application to environmental data**, *The Annals of applied statistics*, Vol.6, No.4, 1406-1429 DOI : 10.1214/12-AOAS554.

PLUIES TIBET

Yao, T., et al. 2013, **A review of climatic controls on $\delta^{18}O$ in precipitation over the Tibetan Plateau: Observations and simulations**, *Rev. Geophys.*, 51, 525–548, doi:10.1002/rog.20023.

C. Shi, V. Masson-Delmotte, C. Risi, T. Eglin, M. Stievenard, M. Pierre, X. Wang, J. Gao, F.M. Bréon, Q.B. Zhang, V. Daux, 2011, **Sampling strategy and climatic implications of tree-ring stable isotopes on the southeast Tibetan Plateau**, *Earth and Planetary Science Letters* ; 301 : 307-316 ; Janvier 2011.

PI Chunming Shia, Valérie Masson-Delmotte, Camille Ristic, Thomas Eglin, Michel Stievenard, Monique Pierre, Xiaochun Wang, Jing Gao, François-Marie Bréon, Qi-Bin Zhang, Valérie Daux, 2011, **Sampling strategy and climatic implications of tree-ring stable isotopes on the southeast Tibetan Plateau**, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 301, Issues 1–2, 3 January 2011, Pages 307–316, doi:10.1016/j.epsl.2010.11.014.

PI C. Shi, V. Masson-Delmotte, V. Daux, Z. Li and Q.B. Zhang, 2010, **An unstable tree-growth response to climate in two 500 year chronologies, North East Qinghai-Tibetan Plateau**, *Dendrochronologia*, 28, 225-237.

J. Gao, V. Masson-Delmotte, T. Yao, L. Tian, C. Risi and G. Hoffmann, 2010, **Precipitation water isotopes in the south Tibetan Plateau : observations and modelling**, *Journal of Climate*.

PREMAPOL

Tran TC., et al., 2015, **Are meteorological conditions within the first trimester of pregnancy associated with the risk of severe pre-eclampsia?** *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, Volume 29, Issue 4, pages 261–270, July 2015, DOI : 10.1111/ppe.12196.

La pré-éclampsie sévère (SPE) est la deuxième cause de mortalité maternelle dans les pays développés. La littérature suggère différents facteurs de risque selon que la pré-éclampsie est précoce ou tardive. La SPE est généralement d'apparition précoce. Les taux de pré-éclampsie présentent des variations saisonnières cependant, l'influence météorologique reste méconnue. Nous avons examiné l'association entre la SPE et l'exposition maternelle aux conditions météorologiques post-conception.

Laaidi M., et al., 2011, **Conséquences de la pollution de l'air sur l'issue de la grossesse : revue de la littérature**, *Environnement, Risques et Santé*, 10(2):128–41.

L'objectif de cet article est de faire la synthèse des principales études sur l'influence de la pollution atmosphérique sur les issues de la grossesse, à l'exception des décès.

Laaidi M., et al., 2011, **Conséquences des conditions météorologiques sur l'issue de la grossesse : revue de la littérature**, *Environnement, Risques et Santé*, 10(2):128–41.

L'objectif de cet article est de faire la synthèse des principales études sur l'influence des conditions météorologiques sur les issues de la grossesse.

PRODIGUER

Guilyardi, E., et al., 2013, **Documenting climate models and their simulation**, *Bull. Amer. Met. Soc.*, online release, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00035.1

Lawrence, B.N, et al., 2012, **Describing Earth system simulations with the Metafor CIM**, *Geosci. Model Dev.*, 5, 1493-1500, <http://www.geosci-model-dev.net/5/1493/2012/> doi:10.5194/gmd-5-1493-2012

Guilyardi, E., et al., 2011, **The CMIP5 model and simulation documentation: a new standard for climate modelling metadata**, *CLIVAR Exchanges Special Issue No. 56*, Vol. 16, No.2, May 2011.

RADIOCLIMFIRE

PI Evangeliou et al., 2015, **Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and the environment**, *Ecological Monographs* 85:49–72. <http://dx.doi.org/10.1890/14-1227.1>

Cet article analyse la situation actuelle et à venir des forêts d'Ukraine et de Biélorussie qui ont été contaminées après la catastrophe nucléaire en 1986. L'utilisation de plusieurs modèles, assortis des données de télédétection et d'observations, ont permis d'étudier la façon dont le changement climatique dans ces forêts pouvait affecter les régimes de feu ainsi que la possibilité de déplacement, en Europe, de ^{137}Cs .

PI Evangeliou, N., et al., 2014, **How “lucky” we are that the Fukushima nuclear accident occurred in early spring. Predictions on the contamination levels from various fission products released from the accident and updates on the risk assessment for solid and thyroid cancers**, *The Science of the Total Environment*, 500–501, 155–172.

Cette article étudie comment un événement aléatoire (tremblement de terre) et le désastre qui a suivi au Japon affectent le transport et le dépôt de retombées radioactives et les conséquences sur la santé. En plus de l'accident de mars 2011, trois autres scénarios sont simulés (hiver 2010, été 2011 et automne 2011).

PI Evangeliou et al., 2014, **Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen?**, *Environ Int.*, 73, 346–358, doi 10.1016.

Après l'accident de Tchernobyl, plusieurs milliers de kilomètres carrés sont totalement interdits d'accès et sont peu à peu regagnés par la forêt et, plus généralement, par la végétation, qui produit une importante biomasse favorable aux déclenchements de feux. Suivant les scénarios, entre 20 et 240 personnes supplémentaires pourraient être atteintes de cancer, dont 10 à 170 pourraient être fatals.

PI Evangeliou et al., 2014, **Global and local cancer risks after the Fukushima nuclear power plant accident as seen from Chernobyl: A modeling study for radiocaesium (^{134}Cs & ^{137}Cs)**, *Environment International* 64, 17–27. doi: 10.1016.

Cet article étudie les effets de deux des radionucléides les plus dangereux émis, ^{137}Cs et ^{134}Cs , lors de l'accident de la centrale de Fukushima.

PI N. Evangeliou, et al., 2013, **Simulations of the transport and deposition of ^{137}Cs over Europe after the Chernobyl NPP accident: influence of varying emission-altitude and model horizontal and vertical resolution**, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 13, 7681–7736.

Le modèle couplé LMDZORINCA a été utilisé pour simuler le transport et les dépôts du traceur radioactif ^{137}Cs après des accidents nucléaires. Ce papier présente quatre simulations différentes.

PI N. Evangeliou, et al., 2013, **Global Transport and Deposition of ^{137}Cs Following the Fukushima NPP Accident in Japan: Emphasis on Europe and Asia Using High-Resolution Model Versions and Radiological Impact Assessment of the Human Population and the Environment Using Interactive Tools**, *Environ. Sci. Technol.*, 47, 5803 – 5812, DOI: 10.1021/es400372u.

RAMONS

Blanchard, A., & Vanderlinden, J.-P., 2013, **Prerequisites to interdisciplinary research for climate change: lessons from a participatory action research process in Île-de-France**, *International Journal of Sustainable Development*, 16(1-2), 1-22

Blanchard, A., & Vanderlinden, J.-P., 2012, **Interdisciplinarité et outils réflexifs : vers une approche globale des trames vertes urbaines**, *Vertigo*, Special issue 12.

Blanchard, A., & Vanderlinden, J.-P., 2010, **Dissipating the fuzziness around interdisciplinarity: the case**

of climate change research, *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society (S.A.P.I.EN.S)*,3(1).

REGYNA

PI Gueye A.K., Janicot S., Niang A., Swadogo S., Sultan Ronchail J., Cohen M., Alonso-Roldan M., Garcin H., Sultan B., S. Angles, 2014, **Adaptability of Mediterranean agro systems to climate change. The example of the Sierra Mágina olive growing region (Andalusia, Spain), Part II: The future**, *Weather, Climate and Society*, accepté.

PI Sultan B., Roudier P., Baron C., Quirion P., Muller B., Alhassane A., Ciais P., Guimberteau M., Traoré S.B., M. Dingkuhn, 2013, **Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in West Africa**, *Environmental Research Letter*, 8 014040 doi:10.1088/1748-9326/8/1/014040.

A. Leblois, P. Quirion, A. Alhassane, S. Traoré, 2013, **Weather Index Drought Insurance: An Ex Ante Evaluation for Millet Growers in Niger**, *Environmental and Resource Economics*, DOI 10.1007/s10640-013-9641-3.

Guimberteau M., Ronchail J., Espinoza J.C., Lengaigne M., Sultan B., Polcher J., Drapeau G., Guyot J.-L., Ducharme A., P. Ciais, 2013, **Future changes in precipitation and impacts on extreme streamflow over Amazonian sub-basins**, *Environmental Research Letter*, 8 014035 doi:10.1088/1748-9326/8/1/014035.

Cohen M., Ronchail J., Alonso-Roldan M., Morcel C., angles S., Araque Jimenez E. et D. Labat, 2013, **Adaptability of Mediterranean agro systems to climate change. The example of the Sierra Mágina olive growing region (Andalusia, Spain) Part I: Past and present**, *Climate and Society, Wea. Climate Soc.*, 6, 380–398 doi: <http://dx.doi.org/10.1175/WCAS-D-12-00043.1>

H. Rust, M. Vrac, B. Sultan, M. Lengaigne, 2012, **Influence of Weather Types on Senegal Precipitation: towards a GLM-Based Analysis**, *Journal of Climate*.

Berg A., de Noblet-Ducoudré N., Sultan B., Lengaigne M. and M. Guimberteau, 2012, **Projections of climate change impacts on potential crop productivity over tropical regions**, *Agricultural and Forest Meteorology*, 15, 89-102.

Willems P., Vrac M., 2011, **Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change**, *Journal of Hydrology*, 402, 193-205, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.03.

Oettli P., Sultan B., Baron C., Vrac M., 2011, **Are regional climate models relevant for crop yield prediction in West Africa?**, *Environmental Research Letter*, 6, 014008.

PI Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., Berg, A., 2011a, **The impact of future climate change on West African agriculture : what does the recent literature say ?**, *Global Environmental Change* 21: 1073-1083.

Kallache M., M. Vrac, P. Naveau, P.-A. Michelangeli, 2011, **Non-stationary probabilistic downscaling of extreme precipitation**, *J. Geophys. Res. - Atmospheres*, Vol. 116, D05113, doi:10.1029/2010JD014892.

Leblois, A. and P. Quirion, 2011a, **Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research agenda**, *Meteorological Applications*, DOI: 10.1002/met.303

Espinoza J.C, Lengaigne M., Ronchail J., Janicot S., 2011a, **Large-scale circulation patterns and related rainfall in the Amazon Basin: a Neuronal Networks approach**, *Clim Dyn*, DOI 10.1007/s00382-011-1010-8.

Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, C. Junquas, P. Vauchel, W. Lavado, G. Drapeau, and R. Pombosa, 2011b, **Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought**, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L13406, doi:10.1029/2011GL047862.

PI Vrac M., P. Yiou, 2010, **Weather regimes designed for local precipitation modelling: Application to the Mediterranean basin**, *J. Geophys. Res. - Atmospheres*, 115, D12103, doi:10.1029/2009JD012871.

Traoré, S. B., Alhassane, A., Muller, B., Kouressy, M., Somé, L., Sultan, B., Oettli, P., Siéné L., Ambroise C., Sangaré, S., Vaksman, M., Diop, M., Dingkhun, M., Baron, C., 2010, **Characterizing and modeling the diversity of cropping situations under climatic constraints in West Africa**, *Atmospheric Science Letter*, 1530-261X, <http://dx.doi.org/10.1002/asl.295>, 10.1002/asl.295.

B., Diongue-Niang A. And Thiria S., 2010, **Weather regimes over Senegal during the summer monsoon season with Self-Organizing Maps. Part I: Synoptic time scale**, *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-010-0782-6, Online First.

Berg A., B. Sultan, N. De Noblet, 2010a, **Including Tropical Croplands in a Terrestrial Biosphere Model: Application to West Africa**, *Climatic Change*,

DOI: 10.1007/s10584-010-9874-x, Online First.

Berg A., B. Sultan, N. De Noblet, 2010b, **What are the dominant features of rainfall leading to realistic large-scale crop yield simulations in West Africa?**, *Geophysical Research Letters*, 37, doi:10.1029/2009GL041923.

RENASEC

Le temps des saisons - Climat, événements extrêmes et sociétés dans l'ouest de la France (XVI^{ème}-XIX^{ème} siècles), 2013, thèse de doctorat soutenue par J. Desarthe en décembre 2011, Hermann Editions, Collection : Météo, ISBN : 978-2-7056-8770-0

Fruit de différents projets scientifiques, dont RENASEC, cet ouvrage retrace quatre cents ans de fluctuations climatiques et d'événements extrêmes dans l'Ouest de la France. Par leur intensité et leur durée, ces phénomènes sont capables d'altérer durablement le fonctionnement des sociétés qui y sont confrontées. Loin de se résigner, les populations ont su faire face et s'adapter en mettant en œuvre différentes mesures pour faire face aux risques. Au-delà de l'étude des interactions entre le climat, ses manifestations les plus extrêmes et les sociétés, l'ouvrage s'intéresse également à la perception de ces phénomènes par les contemporains.

E. Garnier, 2012, **Histoire des tempêtes**, *Risque - Les cahiers de l'assurance*.

Ce travail tente de prouver l'intérêt, pour l'assureur, d'une approche historique consacrée aux tempêtes et aux cyclones entre 1500 et nos jours. Les exemples de la France, de l'Europe et de l'océan Indien montrent que ces événements extrêmes sont en réalité des facteurs de permanence historique et que les archives peuvent être très utiles pour estimer leur sévérité. Dans cette perspective, une simulation du coût actuel de la tempête atlantique de mars 1937 est réalisée. Elle révèle que les sociétés littorales de cette époque étaient nettement plus résilientes. Enfin, l'étude prouve que, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la vulnérabilité a augmenté plus rapidement que l'aléa tempête, notamment depuis les années 1990, avec l'urbanisation croissante des littoraux.

Desarthe, J., 2011, **La nature en colère, les événements climatiques extrêmes dans la région d'Alençon (fin XVII^{ème}-début XX^{ème} siècle)**, *Bulletin de la Société Historique et Archéologique de l'Orne*.

Ce papier propose une reconstruction longue (trois siècles) des extrêmes du type inondations, sécheresses et tempêtes ayant affecté le département de l'Orne, en Basse-Normandie. Il met également en valeur les secteurs géographiques impactés à l'époque sous la forme d'une cartographie du risque et des vulnérabilités.

Garnier, E., 2011, **Climat de la France : apport de l'histoire**, in Jeandel, C. et Mossery, R.(dir.), *Le climat à découvert. Outils et méthodes en recherche climatique*, Paris, CNRS Editions, p. 111-113.

Cette contribution présente les sources historiques disponibles (archives, témoignages picturaux, presse, etc) à la disposition de l'historien pour étudier les climats du passé. Dans un second temps, il privilégie les reconstructions historiques des événements extrêmes en France et en Europe.

Gras, M.-C., 2011, **Les processions en l'honneur de sainte Geneviève à Paris, miroir d'une société (XVI^{ème}-XVIII^{ème} siècles)**, *Revue d'histoire urbaine*, n°32, décembre 2011, p. 5-30

Les processions en l'honneur de sainte Geneviève furent régulièrement organisées contre les événements climatiques extrêmes. Au-delà, elles révèlent les mentalités et les vulnérabilités d'une société urbaine confrontée à l'adversité climatique.

Hiram, H., 2011, **Les cérémonies religieuses face à la météorologie. Enjeux paléoclimatiques et rôle social : le cas de Salamanque au XVII^{ème} siècle**, *Revue d'histoire urbaine*, n°32, décembre 2011, p. 31-52

L'étude se concentre sur les processions météorologiques (rogativas) espagnoles à travers l'exemple de la ville de Salamanque au XVII^{ème} siècle. Outre l'opportunité d'étudier les fluctuations climatiques du Petit Age Glaciaire ibérique, elle autorise une approche fine des enjeux et des pratiques religieuses liés au risque climatique.

PI Garnier, E., et al., 2011, **Grapevine harvest dates in Besançon between 1525 and 1847 : Social outcome or climatic evidence ?**, *Climatic Change*, n°104, p. 703-727.

Ce travail transdisciplinaire présente une série inédite de bans de vendanges de Besançon entre 1525 et 1846. Pour y parvenir, le choix a été fait de contextualiser la série phénologique en la croisant avec d'autres informations historiques (conflits, épidémies, changement de goût et de cépages) afin d'éliminer les dates de vendanges non météorologiques. Enfin, la série « dépolluée » a été comparée avec des séries régionales (Bourgogne, Allemagne et Suisse).

Garnier, E., 2010, **De la mémoire des catastrophes dans nos sociétés modernes : Lothar-Martin (déc. 1999) et les tempêtes des siècles**, *Cités (Philosophie, Politique, Histoire)*, Hors-série 10^{ème} anniversaire, PUF, p. 381-390.

A partir d'exemples historiques et contemporains (Lothar et Xynthia), cette contribution tente d'interpréter le discours sur les catastrophes climatiques au cours des cinq cents dernières années. Alors que l'on ne cesse d'affirmer, depuis une décennie, le caractère inédit de ces catastrophes, l'éclairage montre, au contraire, que les sociétés anciennes connurent aussi de tels désastres et soutinrent déjà qu'il s'agissait d'événements exceptionnels.

Garnier, E., 2010, **Fausse science ou nouvelle frontière ? Le climat dans son histoire**, *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, dossier thématique « climat et histoire, XVI^{ème} - XIX^{ème} siècles », n°57-3, juillet-septembre 2010, p. 7- 41.

Ce volume spécial propose de faire un état de l'art de l'histoire du climat en Europe alors qu'aucune contribution de ce type n'existe en France. Après une mise en perspective des enjeux méthodologiques et disciplinaires de la question, il propose différentes contributions concrètes à l'échelle de l'Europe (France, Allemagne, Grande-Bretagne, Italie, Espagne).

PI Garcia de Cortazar-Atauri, I., et al., 2010, **Climate reconstructions from grape harvest dates : methodology and uncertainties**, *The Holocene*, vol. 20, n° 4, p. 599-608.

Ce travail étudie et évalue la pertinence des dates de bans de vendanges comme proxy data des anomalies de températures. L'approche est fondée sur plusieurs séries de dates de bans de vendanges. Il souligne surtout l'importance des informations historiques comme les types de cépage, les pratiques culturelles et le contexte géopolitique pour appréhender et rendre plus robustes les modèles existants.

Garnier, E., 2010, **Basses extraordinaires et grandes chaleurs. Cinq cents ans de sécheresses et de chaleurs en France et dans les pays limitrophes**, *La Houille Blanche*, n° 4, p. 26-42.

Fondée sur l'étude de nombreux fonds d'archives français et européens (Allemagne, Espagne, Italie, Grande-Bretagne), l'étude reconstruit des séries de sécheresses européennes et les compare. Dans un second temps, elle s'intéresse aux réactions des sociétés et aux stratégies qu'elles développèrent pour tenter d'y faire face.

La tempête Xynthia face à l'histoire - Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours, E. Garnier et F. Surville (dir), Editions Le Croît Vif ; Octobre 2010

Un groupe de scientifiques et d'historiens a remis un rapport aux commissions parlementaire et sénatoriale constituées au lendemain du passage de la tempête Xynthia qui a ravagé le littoral atlantique fin février 2010. Ce livre met en perspective la tempête Xynthia et apporte un éclairage indispensable aux réflexions à chaud concernant cette catastrophe.

J. Desarthe, 2010, **Duhamel du Monceau, météorologue**, *Revue d'histoire moderne et contemporaine* 3/2010 (n° 57-3), p. 70-91.

Savant connu et reconnu pour ses apports à l'agriculture du siècle des Lumières, Duhamel du Monceau fait également figure de pionnier en météorologie. Pendant quarante ans, il a réalisé de nombreuses observations botanico-météorologiques qui offrent aujourd'hui une opportunité archivistique exceptionnelle pour l'histoire du climat. Elles autorisent une restitution fine de la variabilité du climat beauceron pour la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle. De plus, son parcours au sein de l'Académie royale des sciences révèle les différents réseaux nationaux et européens qui l'ont amené à intégrer les facteurs climatiques dans ses travaux scientifiques.

Pfister et al., 2010, **The meteorological framework and the cultural memory of three severe winter-storms in early eighteenth-century Europe**, *Climatic Change*, Special Issue: European Climate of the Past 500 Years Based on Documentary and Instrumental Data, 101 : 281-310.

Dans cette publication, issue en partie des travaux du projet RENASEC, trois violentes tempêtes ayant touché respectivement la région de la Mer du Nord, l'Europe Centrale et le Portugal au XVIII^{ème} siècle, sont étudiées selon plusieurs angles : les points de vue météorologiques, les impacts socio-économiques, et l'ancrage dans la mémoire culturelle.

Camuffo et al., 2010, **500-year temperature reconstruction in the Mediterranean Basin by means of documentary data and instrumental observations**, *Climatic Change*, Special Issue: European Climate of the Past 500 Years Based on

Documentary and Instrumental Data, 101 : 169-199.

Le projet européen Millenium aujourd'hui achevé visait à déterminer si les changements climatiques actuels dépassent la variabilité naturelle du climat européen, observée au cours de ce dernier millénaire. Cet article présente les principaux résultats du projet pour la région Méditerranéenne, obtenus par la combinaison de ressources documentaires et de mesures instrumentales. Les données françaises ont été fournies dans le cadre des projets RENASEC et OPHELIE.

Climat et révolutions. Autour du Journal du négociant rochelais Jacob Lambertz (1733-1813), ouvrage collectif, sous la direction d'E. Garnier et de F. Surville, Le Croît Vif, Saintes, 2010.

Les dérangements du temps, cinq cents ans de chaud et froids en Europe, E. Garnier, Éditions Plon, janvier 2010. Prix Gustave Chaix d'Est Ange de l'Académie des Sciences Morales et Politiques (Institut de France) et Risques 2010 La Tribune/BFM radio.

La certitude de nos contemporains de vivre un « changement » climatique ne date pas d'aujourd'hui. Tiré d'archives inédites, cet ouvrage présente une autre réalité des fluctuations climatiques et des perceptions que les Européens en ont eu au cours de cinq cents dernières années.

PI Camuffo, D., et al., 2010, **The earliest daily barometric pressure readings in Italy : Pisa, 1657 - 1658 and Modena, 1694 and the circulation index over Europe, 1694**, *The Holocene*, vol. 20, p. 337-349.

La recherche exploite les plus anciennes séries barométriques européennes connues en Italie (Pise, Modène), en Angleterre (Oxford) et en France (Observatoire de Paris) après les avoir corrigées et ajustées à des modèles actuels. Ces données homogénéisées ont permis de recréer la situation atmosphérique de l'année 1694.

Garnier, E., 2009, **Histoire du climat et enjeux géostratégiques**, Actes du colloque international « Les conséquences géostratégiques du réchauffement climatique » du 9 avril 2009 (École de Guerre), *Les cahiers de Mars*, n° 200, p. 29-35.

Le papier démontre l'impact qu'eurent les grandes fluctuations climatiques et les événements extrêmes du dernier millénaire sur les plans géostratégiques et économiques. Plus précisément, différents exemples historiques mettent en lumière leur rôle dans le déclin de certaines entités politiques, les défaites militaires ou encore dans l'apparition de mouvements sociaux ayant parfois abouti à des révolutions.

Brazdil et coll., 2009, **European floods during the winter 1783-1784: scenarios of an extreme event during the «Little Ice Age»**, *Theoretical and Applied Climatology*.

Cette publication basée, entre autres, sur les travaux du projet RENASEC, aborde les séries de fortes inondations qui ont touchées l'Europe au cours de l'hiver 1783-1784. En cause, une période très froide suivie d'un réchauffement brutal associé à de fortes précipitations.

De Maleissye M.F., Beauchet A.Z., Mouhamad M., Saiag P., Mahé E., 2010, **Parents' attitudes related to melanocytic nevus count in children**, *European Journal of Cancer Prevention*, November 2010 - Volume 19 - Issue 6 - pp 472-477, doi: 10.1097/CEJ.0b013e32833eba4f.

Corrêa M.P., S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, C. Brogniez, F. Verschaeve, P. Saiag, A. Pazmiño and E. Mahé, 2010, **Comparison between UV index measurements performed by research-grade and consumer-products instruments**, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 9, 459 - 463, DOI: 10.1039/b9pp00179d.

Comparaison des mesures d'index UV données par des instruments commerciaux avec celles d'un spectromètre de recherche Bentham. Les résultats montrent que très peu d'instruments commerciaux donnent une mesure correcte de l'indice UV

Jégou, F.; Godin-Beekman, S.; Corrêa, M. P.; Brogniez, C.; auriol, F.; Peuch, V. H.; Haeffelin, M.; Pazmino, A.; Saiag, P.; Goutail, F.; Mahé, E., **Validity of satellite measurements used for the monitoring of UV radiation risk on health**. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, p. 13377-13394, 2011.

Test de la validité des indices UV fournis par la modélisation et les mesures satellitaires à partir de comparaisons avec des mesures au sol obtenues à partir de spectroradiomètres et de radiomètres à bande large en 2008 et 2009. Les résultats indiquent que les mesures satellitaires testées (provenant de SCIAMACHY, GOME-2 et OMI) fournissent généralement des indices UV proches des mesures sol mais que des biais apparaissent en cas de couvertures nuageuse. Les résultats du modèle de Météo-France MOCAGE sont également proches des mesures sol par ciel clair mais le modèle est moins performant lorsque le ciel est couvert.

PI Mahé E., M.P. Correa, S. Godin-Beekmann, M. Haeffelin, F. Jégou, P. Saiag, A. Beauchet, 2012, **Evaluation of tourists' UV exposure in Paris**, *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, DOI: 10.1111/j.1468-3083.2012.04637.x, 2012

We evaluated erythemal UV exposure, during four sunny days in May-June in eight Paris touristic sites during peak hours (2 days), and during two walks in touristic downtown of Paris. Measures were performed in sun and shade. UV radiation exposure was evaluated with UV index performed with a 'Solarmeter ultraviolet index (UVI)' and UV dose with 'standard erythema dose' (SED) and 'minimal erythema dose' (MED) calculations. Despite 'average' UVI in sunny conditions, a 4-h sun exposure reaches 13-20 SED and 3-10 MED according to phototype. Clouds were inefficient to protect against UV. Shade of places reduces moderately UVI (50-60%) in forecourts. Exposure during 1-h walk reach at least one MED in real life conditions for skin phototypes I-IV. UV risk for tourist is quite high in spring in Paris. UVI remains high despite high cloud fraction. Shade reduces UVI, but UV protection factor is only 2-3 in large places such as Place Notre Dame and Place Charles de Gaulle. So sun protection campaigns should be proposed, and sun protective strategies could be integrated in urban planning.

