

GESTION ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



APPEL À PROJETS DE 2008

RÉSULTATS SCIENTIFIQUES ET ACQUIS POUR LES GESTIONNAIRES ET DÉCIDEURS

PROGRAMME DE RECHERCHE
**«GESTION ET IMPACTS DU CHANGEMENT
CLIMATIQUE»**

Appel à projets 2008

**Résultats scientifiques et acquis
pour les gestionnaires et décideurs**

GIP Ecofor

**Ministère de l'Écologie,
du Développement durable
et de l'Énergie**

GESTION ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ORGANISATION DU PROGRAMME DE RECHERCHE

Le programme est piloté par le Comité d'orientation, composé d'organismes, soutenu par un Conseil scientifique composé d'experts scientifiques du domaine. Il est animé par le Ministère chargé du développement durable et par le Groupement d'intérêt public Ecofor. Les projets sont financés par le Service de la recherche du Ministère chargé du développement durable et par tout autre financeur intéressé ; ont notamment contribué à ce programme l'Ademe, l'Onerc, la Mies, l'Institut français pour la biodiversité (devenu FRB), ...

Comité d'orientation

Présidé par le Chef du service de la recherche, de la Direction de la recherche et de l'innovation du Ministère en charge du développement durable, il réunit les représentants des organismes suivants : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Agence de l'eau Seine-Normandie, Agence nationale de la recherche, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Entreprises pour l'environnement, Caisse des dépôts et consignations, CNRS-Insu, Conservatoire du littoral, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, AgroParisTech-Engref, Gip Ecofor, Gis Climat environnement et société, Institut national de recherche agronomique, Hélio International, Institut du développement durable et des relations internationales, Fondation pour la Biodiversité, Institut de veille sanitaire, Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'Environnement, Ministère des affaires étrangères, Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, Ministère de l'économie et des finances, Météo-France, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Parcs nationaux de France, Région Rhône-Alpes, Sénat, WWF France, et le président du Conseil scientifique du programme.

Conseil scientifique

Présidé par Claude Millier, il est composé de chercheurs en sciences du climat, en économie, sciences sociales, écologie, santé, *etc.*

Beat Burgenmeier (Université de Genève), Pierre Chevallier (Université Montpellier 2), Wolfgang Cramer (CNRS), Pascale Delecluse (Météo France), Antonio Guell (CNES), Philippe Guttinger (Université Paris X), Jean-Pierre Lacaux (Observatoire Midi-Pyrénées), Sandrine Maljean-Dubois (CNRS), Jean-Claude Manuguerra (Institut Pasteur), Claude Millier (AgroParisTech-ENGREF), André Monaco (Université de Perpignan), Serge Morand (CNRS), Michel Nakhla (MinesParisTech), Michel Petit (Conseil Général des Technologies de l'Information), Serge Planton (Météo France), Filipe Duarte Santos (Université de Lisbonne), Rainer Sauerborn (Université d'Heidelberg), Bernard Seguin (INRA), Henry Tulkens (Université Catholique de Louvain), Chloé Vlassopoulou (Université de Picardie).

© GIP Ecofor, MEDDE, 2013, 1^{ère} édition.

Citation recommandée (pour l'ouvrage complet) :
Bonhême I., Millier C., Imbard M. (coordinateurs), 2013.
Programme de recherche « Gestion et impacts du changement climatique »,
Appel à projets 2008, Résultats scientifiques et acquis pour les gestionnaires et décideurs, GIP Ecofor-MEDDE, 232 p.
ISBN 978-2-914770-06-4

Pour obtenir cet ouvrage en version papier :

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
Service de la recherche
Tour Voltaire
92055 La Défense Cedex
Tél : 01 40 81 33 32

GIP Ecofor
42 rue Scheffer
75116 Paris
Tél : 01 53 70 21 70

Pour obtenir cet ouvrage en version numérique :

<http://www.programme-gicc.fr> (rubrique « publications »)

Maquette et réalisation : Inzemoon

Illustration de couverture : © Xavier Gorce

AVANT-PROPOS

S'adapter au changement climatique est un des défis du XXI^{ème} siècle que nos sociétés mondialisées doivent relever. Le ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie s'y est engagé avec les partenaires scientifiques et sociaux sur le territoire français et en Europe. Le renforcement des bases scientifiques sur les phénomènes complexes en action, sur les impacts de ce changement climatique sur l'environnement et la société et sur les actions à conduire est essentiel pour concevoir les politiques et les actions à mettre en œuvre

Cet ouvrage présente les synthèses des quatorze projets menés sur la période 2009-2012 dans le cadre du programme de recherche Gestion et impacts du changement climatique (GICC) du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE). Tous les projets soutenus par le programme GICC intègrent un objectif d'adaptation. Ainsi le programme GICC est une action du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) du Ministère qui couvre la période 2011-2015

Le champ des recherches sur le changement climatique est très large et nécessite la participation de l'État, de nombreux acteurs et l'engagement de nombreuses disciplines scientifiques. Les projets qui sont présentés ici traitent de sujets variés en lien avec la mise en œuvre des politiques publiques. Ils abordent des sujets scientifiques relevant de la physique et des sciences de l'environnement mais aussi des aspects juridiques, comportementaux ou sociétaux qui doivent être analysés ou élaborés pour atténuer la contribution au changement climatique ou s'adapter à celui-ci.

À titre d'exemple, le projet « de recherche et développement » DRIAS a permis la création du service Drias^{les futurs du climat} qui donne accès aux résultats des scénarios climatiques à l'échelle de la France à l'ensemble des acteurs : collectivités territoriales, entreprises, associations et citoyens... Ce service Drias^{les futurs du climat}, ouvert depuis juillet 2012, permet à l'ensemble des acteurs de prendre connaissance de l'ampleur des changements à venir et de réfléchir aux solutions à apporter en termes de service publics ou non. Ce projet permet réellement de progresser dans la préparation et la conception de « Services climatiques ».

En conclusion, je tiens à remercier, au nom du Service de la Recherche du MEDDE, le président du Conseil scientifique du programme, Claude MILLIER, les responsables scientifiques des quatorze projets pour leur investissement dans la réalisation de cette synthèse et pour le soin qu'ils y ont apporté et les membres du Conseil scientifique qui ont choisi et suivi les projets.

Cette synthèse est une étape importante pour le programme GICC. S'il est, bien-sûr, attendu que les projets des programmes du ministère contribuent fortement au corpus de connaissances scientifiques diffusées par les revues à comité de lecture, la diffusion des résultats, et d'une façon générale ce que l'on regroupe sous le terme générique de valorisation est une richesse des programmes du MEDDE.

Le programme a ainsi permis de créer et d'animer un réseau dynamique associant chercheurs, décideurs et gestionnaires d'espaces pour mieux appuyer les acteurs dans leur engagement sur l'adaptation au changement climatique (<http://www.programme-gicc.fr>). Les membres du Conseil scientifique et du Comité d'orientation du programme restent mobilisés autour de ce dialogue auquel nous espérons associer les lecteurs de cet ouvrage.

Nous comptons sur eux, sur vous, pour tirer le meilleur parti de ces travaux.

Claire Hubert, *présidente du Comité d'orientation*
Chef du Service de la Recherche,
Direction de la recherche et de l'innovation,
Commissariat général au développement durable,
Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

INTRODUCTION

Les projets retenus pour financement dans l'appel à propositions 2008 du programme « gestion des impacts du changement climatique » (GICC) sont terminés et leurs rapports finaux ont été évalués lors des deux dernières réunions du Conseil scientifique. Le Lecteur trouvera dans l'ouvrage les « synthèses » de ces différents projets, demandées en sus des rapports finaux pour mieux valoriser et disséminer les résultats du programme GICC.

L'appel 2008 avait donné plus d'importance aux recherches liées à l'adaptation, en allant plus loin qu'une focalisation principale sur les impacts, jusque-là objet central de GICC ; cet infléchissement résultait de la mise en chantier du Plan National sur l'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) et de ses conséquences au niveau régional et correspondant à une évolution corrélative des financements européens et internationaux : voir en particulier l'activité de l'ERA-net CIRCLE auquel le programme GICC est étroitement associé.

La répartition des projets montre bien cette percée, tout en notant que les sujets privilégiant l'atténuation ne sont pas oubliés (ici essentiellement dans le domaine des sciences sociales, mais certains projets d'adaptation comportent obligatoirement une partie concernant les puits et sources de carbone).

On constatera aussi que le premier projet significatif sur les services climatiques avait été sélectionné comme projet de base permettant ultérieurement l'utilisation des informations climatiques actuelles et projetées suivant les scénarios du GIEC par une communauté d'utilisateurs en vue de mieux s'adapter. Le résultat principal, la mise à disposition opérationnelle de la plate-forme DRIAS par Météo-France depuis l'automne 2012, est un des points d'orgue du programme GICC. Cette anticipation par rapport à l'évolution des besoins est une réussite qui conditionnera significativement le développement des recherches sur des services climatiques plus intégrés dans les analyses des utilisateurs (administrations, collectivités, entreprises, associations, ...)

Les capacités d'adaptation actuelles des communautés dépend beaucoup des perceptions et des pratiques (l'adaptation a déjà – bien sûr – commencé !) et doivent être soigneusement évaluées ; elles doivent être renforcées pour déboucher sur des actions plus efficaces ; elles doivent être prises en compte

dans la conception et la mise en place des politiques publiques concernées.

Aussi, à côté de projets plus classiques partant surtout des impacts et de leur mesure, d'autres ont une démarche inverse en partant des attentes et besoins de divers acteurs ; il paraît naturel que cette double approche soit représentée dans GICC ; cette coexistence exige un travail collectif au niveau du programme (en particulier le Conseil scientifique) qui produit une vision assez globale du domaine de l'adaptation et une meilleure définition des grands axes de recherche le constituant.

Cette hétérogénéité du programme, aussi bien des objets, des méthodes et approches, est une richesse : certes parfois difficile à gérer, toujours exigeante, elle apporte une vision plus structurée et plus globale du domaine de la gestion des impacts du changement climatique ; les appels d'offres faisant suite à 2008 (2010 et 2012, en cours), ont approfondi ces aspects, parfois en associant plus intimement les acteurs de l'adaptation et de l'atténuation.

Au moment où est attendu le nouveau rapport du GIEC (avec son cortège de débats nécessaires) et où les négociations au niveau mondial vont – on l'espère – déboucher sur un accord ambitieux et efficace, ce petit livre est un témoignage certes partiel de l'activité des communautés scientifiques concernées mais significatif ; il montre bien les apports de la recherche dans notre quête de solutions et il justifie de fait l'espoir que ce programme sera continué à partir de début 2014.

Pour terminer, les projets ont été pour leur grande majorité financés par le Ministère chargé du développement durable ; toutefois certains n'auraient pas été possibles sans l'aide de l'ADEME : que ces financiers qui prouvent ainsi leur engagement pour aller jusqu'à la recherche en soient remerciés.

Claude Millier, *président du Conseil scientifique de GICC*

SOMMAIRE

Atténuation du changement climatique : mises en œuvre

Économie industrielle des accords sectoriels
Matthieu Glachant (MINES ParisTech) 13

Système intégré de suivi et d'évaluation des négociations sur le climat à partir de COP-15
Richard Loulou (KANLO) et **Alain Haurie** (ORDECSYS) 23

Les budgets Carbone individuels, de la théorie à la pratique
Ghislain Dubois (TEC) 37

Les négociations internationales du post-2012 : une lecture juridique des enjeux fondamentaux
Sandrine Maljean-Dubois (CNRS) 49

Impacts, vulnérabilité, adaptation : des milieux naturels aux sociétés

Impacts du changement climatique sur l'émergence des vecteurs de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal : adaptation et stratégie pour une meilleure gestion du pastoralisme au Sahel
Murielle Lafaye (CNES) 61

Adaptation des territoires alpins à la recrudescence des sécheresses dans un contexte de changement global
Sandra Lavorel (CNRS) 81

Analyse et spatialisation de scénario intégré de changement global sur la forêt française
André Granier (INRA) 97

Stratégies d'adaptation des ouvrages de protection marine ou des modes d'occupation du littoral vis-à-vis de la montée du niveau des mers et des océans
Philippe Sergent (CETMEF) 113

Capacités d'adaptation des sociétés littorales aux phénomènes d'érosion – submersion des côtes en prise avec les changements climatiques
Anne Tricot (CNRS) 129

Gérer les déplacements des populations dus aux phénomènes climatiques extrêmes
François Mancebo (Université de Grenoble) et **Chloé Vlassopoulou** (Université d'Amiens) 143

Adaptation au changement climatique en Rhône-Alpes
Pierrick Yalamas (RAEE) 155

L'adaptation au changement climatique : les défis d'une approche intégrée pour les territoires
François Bertrand (Université de Tours) 173

Quel climat à l'école ? Les « jeunes » face aux changements climatiques
Susan Kovacs (Université de Lille 3) 195

Services climatiques

DRIAS : Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements
Philippe Dandin (Météo France) 213

Index des mots-clés 228

**ATTÉNUATION DU
CHANGEMENT CLIMATIQUE :
MISES EN ŒUVRE**

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE DES ACCORDS SECTORIELS

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : 1^{er} septembre 2009

Montant du budget : 105 000 € HT dont 52 500 € HT de subvention de la DGEC du MEDDE

Coordinateur

Matthieu Glachant

CERNA, Mines ParisTech

60, boulevard Saint-Michel

75 006 Paris

Email : matthieu.glachant@mines-paristech.fr

Partenaires

Yann Ménière, Philippe Jacquet – CERNA, Mines ParisTech

Mots-clés : climat, négociations climatiques, protocole de Kyoto, mécanisme de développement propre, accords sectoriels, transfert international de technologie, concurrence

Objectifs des recherches

L'objectif de ce projet d'économie industrielle des accords sectoriels est triple. Il s'agit de :

- recenser, évaluer et comparer les différents scénarios d'accords sectoriels possibles ;
- étudier, à partir d'analyses théoriques et d'études empiriques, comment la prise en compte des questions d'innovation et de diffusion de technologie dans les accords sectoriels peut affecter leur attractivité et leur efficacité ;
- tirer des enseignements et des recommandations sur le « design » d'accords sectoriels.

Présentation des travaux

Introduction

L'architecture proposée par le protocole de Kyoto à la fin des années 1990 ne servira a priori pas de modèle pour le futur régime international de lutte contre le changement climatique. Elle n'est en effet pas acceptée par les pays émergents comme la Chine ou l'Inde et les États-Unis. Cette approche consistant à fixer des objectifs nationaux de réduction des émissions est aussi critiquée pour le manque de solutions concrètes qu'elle propose pour évaluer les potentiels de réduction. Enfin, la question du transfert de technologie est peu abordée, si ce n'est à travers la mise en place du Mécanisme de développement propre (MDP), pour lequel le transfert et le déploiement de technologies propres n'est qu'un objectif secondaire. Or une large diffusion de technologies sobres en carbone est un facteur décisif pour atteindre à un coût raisonnable des objectifs ambitieux de limitation des émissions, notamment dans les pays émergents.

Le concept d'approche sectorielle a émergé depuis quelques années, avec pour but de remédier à certains de ces défauts. Il s'appuie sur l'idée selon laquelle les pays n'ayant pas souscrit d'engagement dans le cadre du protocole de Kyoto seraient plus enclins à accepter un accord à l'échelle d'un secteur plutôt qu'un engagement national. Le périmètre sectoriel semble également bien adapté pour traiter les questions de concurrence internationale entre pays réglementés et pays non réglementés, et pour faciliter le transfert et le déploiement de technologies.

L'objectif de cette étude est de développer une analyse d'économie industrielle des accords sectoriels susceptibles d'être conclus dans la période post-2012. Un accord sectoriel est défini très simplement comme un dispositif reposant sur l'accord entre les parties qui visent à limiter les émissions de gaz à effet de serre dans un secteur d'activités particulier (par exemple, la sidérurgie, le secteur électrique, le transport aérien). Au-delà de cette définition très générale, les accords sectoriels peuvent prendre des formes très variées en termes de périmètre géographique (national, régional, mondial), de parties prenantes à l'accord (des États ou des entreprises) et de contenu (recherche et développement coopérative, partage de technologies, mécanismes de *trading*, objectifs quantitatifs de réduction des émissions, *etc.*). Leur contenu et leur fonctionnement étant encore imprécis et sujets à débat, ce projet de recherche a donc une dimension essentiellement prospective et spéculative.

Le projet se concentre plus particulièrement sur l'effet potentiel des accords sectoriels sur l'innovation et la diffusion de technologies. Dans cette perspective, il traite ainsi les questions suivantes : quels sont les différents types

d'accords sectoriels possibles ? Sur quels mécanismes incitatifs reposent-ils ? Comment affectent-ils l'innovation et la diffusion de technologies propres ? Quelles sont les incitations des industriels du Nord et du Sud à y participer ? Quels résultats en attendre en termes d'innovation et d'atténuation ?

L'étude comporte deux modules :

- Module 1 : Typologie des accords sectoriels
- Module 2 : Analyse théorique des projets sectoriels.

Module 1 : Typologie des accords sectoriels, méthodes et résultats

L'objectif du module 1 est d'analyser les mécanismes et variables économiques sur la base desquels sont structurés les accords sectoriels, pour proposer ensuite une typologie de ces accords. Cette démarche s'appuie sur une analyse des différents types d'accords sectoriels existants ou en projet, ainsi que sur une revue de la littérature sur ce sujet, qui s'est considérablement étendue au cours des dernières années dans le sillage des négociations climat. La formulation d'une typologie – appuyée autant que possible sur une analyse du contenu et des motivations des accords sectoriels à la lumière de la théorie économique – doit permettre d'identifier le potentiel, mais aussi les limites de ce type d'outils du point de vue des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Nous analysons dans un premier temps les mécanismes économiques pouvant justifier une approche sectorielle des politiques de réduction des émissions de GES. Nous considérons tout d'abord les relations concurrentielles et technologiques unissant les firmes d'un même secteur, et les besoins de coordination supplémentaires qu'elles peuvent engendrer. Nous discutons ensuite de l'opportunité de mettre en place à l'échelle sectorielle des mécanismes incitatifs tels que des permis négociables ou des systèmes de crédits carbone.

À la lumière de cette analyse, nous développons ensuite une typologie distinguant deux modèles d'accords très différents. Le premier modèle correspond à des initiatives de coopération transnationales entre industriels. Ce type d'accord peut être observé dans des secteurs globalisés et concentrés tels que le ciment, l'acier ou l'aluminium. Ils sont principalement axés sur le *benchmarking* et la collecte de données, dans une démarche d'anticipation et d'orientation des futures réglementations environnementales. À l'inverse, le second modèle correspond à des accords passés entre pays en développement (PED) et pays développés dans le cadre des négociations. Il vise à définir et implémenter des stratégies d'abattement adaptées à certaines industries dans les PED, lorsque

celles-ci sont marquées par un écart trop important vis-à-vis des *benchmarks* internationaux.

Nous montrons que ces deux types d'accord s'adressent à des industries et contextes de développement très différents, et sont en cela complémentaires. Si aucun de ces accords ne s'appuie directement sur des mécanismes de marché carbone, tous deux ont en revanche pour effets soit de préparer, soit de compléter la mise en place de tels mécanismes. Nous développons enfin, à partir d'une série d'indicateurs, une méthodologie visant à évaluer le potentiel de ces accords en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre (tableaux 2 et 3).

Module 2 : Analyse théorique des projets sectoriels, méthodes et résultats

Ce second module du projet de recherche est consacré à des travaux de modélisation théorique de différents types d'accords sectoriels. Il vise à éclairer les interactions entre firmes dans le cadre de ces accords et leurs effets sur le développement et la diffusion de technologies. Il cherche à caractériser les résultats qui peuvent en être attendus en matière d'atténuation et les mesures de politique économique pouvant les accompagner. Plus spécifiquement, nous avons développé deux modèles.

Le premier modèle (Environmental or Research & Development cooperation in transnational sectoral agreements) compare l'efficacité économique de deux types d'accords sectoriels transnationaux : un accord définissant des objectifs de réduction des émissions et un accord de coopération en recherche et développement visant la création de nouvelles technologies de lutte contre le changement climatique. Nous montrons tout d'abord que la coopération en recherche et développement est préférable à l'accord de réduction si (et seulement si) le bénéfice marginal de l'externalité d'apprentissage (*knowledge spillover*) est supérieur au dommage marginal de l'externalité environnementale. L'hétérogénéité entre pays a pour effet de réduire le bien-être quand elle concerne les préférences environnementales des pays, mais elle est neutre lorsqu'elle concerne leurs capacités de recherche et développement. Cela suggère donc que la coopération technologique est mieux adaptée dans un contexte réel d'hétérogénéité entre pays.

Le second modèle (Comment compenser les efforts d'abattement d'un pays en développement : avec du transfert de technologie ou de l'argent ?) porte sur les accords sectoriels du type NAMAs (Nationally Appropriate Mitigation Actions) et analyse les différents mécanismes permettant de récompenser des efforts de réduction des émissions par les pays en développement (PED). Plus

spécifiquement, sont comparées les propriétés économiques de quatre mécanismes : un transfert de technologie, la connexion des pays en développement à un marché Cap and Trade (avec une allocation initiale de permis généreuse), la mise en place de dispositifs de *crediting* du type mécanisme de développement propre et no-lose. Nous montrons que toutes les approches améliorent l'efficacité économique de la lutte contre le changement climatique, mais selon des modalités variées (voir Tableau 1 ci-dessous).

Tableau 1. Comparaison des propriétés économiques du transfert de technologie, de la connexion à un marché Cap and Trade international ou à un dispositif no-lose et du MDP

	Transfert de technologie	Systèmes Cap & Trade ou No-Lose	Mécanismes de développement propre (MDP)
Efficacité économique	++ si une taxe ou un marché de carbone domestique + si une norme domestique 0 si une norme domestique et une collusion des entreprises sur la technologie		
Effets distributifs	1) Défavorables aux pays développés si concurrence internationale, sinon neutre 2) Difficilement ajustable	1) Dépendent de la baseline ou de l'allocation initiale de permis 2) Très facilement ajustable sans effet sur l'efficacité	1) Très favorable aux PED 2) Non ajustable

Acquis en termes de transfert

Cette étude a principalement une visée prospective en vue d'éclairer les choix de politiques économiques dans le cadre des négociations en matière de lutte contre le changement climatique. Dans cette perspective, un premier acquis en matière de transfert a été de nourrir la réflexion des responsables des marchés carbone à la Direction Générale de l'Environnement et du Climat (DGEC), qui ont suivi l'ensemble de notre travail.

Le développement d'une typologie des accords sectoriels et les analyses théoriques réalisées dans le cadre de l'étude nous ont notamment conduit à établir une grille d'évaluation de l'impact des différents accords sectoriels recensés dans notre typologie, notamment en matière d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Cette grille s'appuie sur la liste de six critères établis par l'OCDE pour évaluer les politiques environnementales, et peut être étendue à de nouvelles formes d'accords :

- efficacité environnementale (1) : ambition environnementale ;
- efficacité environnementale (2) : atteinte des objectifs environnementaux ;

- minimisation des coûts d'abattement et efficacité allocative ;
- incitations à l'innovation et au partage de technologies ;
- efficacité sur le plan administratif ;
- aspects politiques.

Chaque critère est renseigné dans les tableaux 2 et 3, afin d'évaluer l'efficacité des deux modèles d'accords sectoriels en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le tableau 2 applique ces critères aux initiatives transnationales des industriels. Malgré l'ambition affichée d'engager les secteurs concernés sur un sentier de développement durable, il ressort tout d'abord que les retombées de ces initiatives en matière de réduction d'émissions de gaz à effet de serre sont faibles. En l'absence de dispositifs incitatifs (taxe, subventions ou mécanismes de marché carbone), les accords entre industriels n'ont pas donné lieu à des efforts d'abattements supplémentaires significatifs. Les réductions d'émission sont ainsi limitées aux abattements « sans regret » réalisables à travers l'échange de bonnes pratiques. Pour les mêmes raisons, la coopération en matière de technologie semble se limiter pour l'essentiel à la promotion des meilleures technologies génériques, ou à la production d'information sur les technologies d'abattement existantes.

Tableau 2. Evaluation des initiatives transnationales des industriels

Critère d'évaluation	Applications aux initiatives existantes (Worldsteel, CSI, IAI, Partenariat Asie-Pacifique)
Efficacité environnementale (1): - Ambition environnementale	Engager les secteurs sur un sentier de croissance durable
Efficacité environnementale (2): - Implémentation des objectifs environnementaux	Réductions d'émissions effectives limitées aux abattements « sans regret »
Minimisation des coûts d'abattement et efficacité allocative	Faible effet direct à travers le partage des bonnes pratiques et le <i>benchmarking</i> technologique.
Incitations à l'innovation et au partage de technologies	Faibles : démarche purement coopérative, sans dispositif spécifique d'incitation à la coopération
Efficacité sur le plan administratif	Le <i>benchmarking</i> des systèmes de mesures peut faciliter la mise en place de mécanismes de marché carbone transnationaux.
Aspects politiques	Implication des industriels des pays en développement en amont de l'implémentation de politiques environnementales

Dans ce contexte, les incitations des industriels à coopérer tiennent principalement à la possibilité d'influencer le futur design des réglementations sectorielles mais aussi, en partageant des informations sur les systèmes de mesures

et les technologies disponibles, d'inciter les firmes des pays en développement à s'impliquer dans ce processus. Si ce travail de production de d'outils de mesures et de collecte de données ne peut pas se substituer à celui des États, il peut le compléter utilement. Dans la mesure où il implique la construction d'un consensus entre industriels, il peut notamment faciliter la mise en place de réglementations ou de mécanismes de marché transnationaux, et contribuer ainsi à l'élimination des distorsions de concurrence.

Le tableau 3 propose une évaluation avec les mêmes critères des initiatives sectorielles des pays en développement (NAMAs). Ce type d'accord étant aujourd'hui en discussion, il n'est pas possible de juger sur pièce leur ambition environnementale. Celle-ci dépendra de l'issue éventuelle des négociations climat, et du niveau d'effort que chaque pays en développement sera prêt à consentir. La possibilité de décider au cas par cas de la nature de leurs engagements dans une logique bottom-up, et l'obtention en contrepartie un soutien financier ou technologique axé sur les actions engagées, sont des facteurs favorisant l'engagement des pays en développement sur des objectifs plus ambitieux.

Si des accords de ce type sont effectivement conclus, et en l'absence de mécanismes de sanctions crédibles entre États, leur implémentation dépendra également en dernier ressort de la volonté des États concernés. Dans cette perspective, le fait que les engagements contractés par les pays en développement portent sur des objectifs quantifiés, et qu'ils aient pour contrepartie des contributions financières et technologiques des pays développés dans le cadre des actions entreprises, sont néanmoins des facteurs favorisant une implémentation effective des objectifs.

S'agissant du contenu des actions entreprises, la mise en œuvre d'actions sectorielles unilatérales ou soutenues dans des secteurs spécifiques ne va pas, à court terme, dans le sens d'une harmonisation internationale des réglementations environnementales. De ce fait, elles n'impliquent pas une allocation efficace des coûts d'abattement. À plus long terme, ces actions s'inscrivent toutefois dans une logique de transition des industries concernées vers les standards internationaux d'efficacité environnementale – en intégrant les problèmes de mesure des émissions et de capacity building qu'une telle transition implique. Elles pourraient donc à terme aboutir à l'intégration de ces secteurs à des mécanismes de marché transnationaux – comme l'illustre la troisième catégorie de NAMAs reposant sur des mécanismes de flexibilité.

Cette stratégie de rattrapage présente de plus l'avantage de limiter les effets redistributifs des mécanismes de marché transnationaux, en les réservant aux secteurs des pays en développement dont les coûts marginaux d'abattement sont

comparables à ceux des pays développés. Elle se prête également bien à des transferts de technologies bien définis et ciblés – auxquels s’engagent les pays développés – dans une logique de rattrapage technologique. Enfin, elle permet d’ajuster le cadre réglementaire et la formulation des objectifs aux contraintes locales en matière de mesure, reporting et vérification des émissions – ce qui va dans le sens d’une meilleure efficacité administrative.

Tableau 3. Initiatives sectorielles des pays en développement (PED, dans le tableau) (NAMAs)

Critère d'évaluation	Applications aux NAMAs
Efficacité environnementale (1): - Ambition environnementale	Objectifs d'abattement déterminés contractuellement et au cas par cas dans le cadre des négociations internationales.
Efficacité environnementale (2): - Implémentation des objectifs environnementaux	Engagement des PED sur des objectifs quantifiés. Dépend en dernier ressort de la volonté des Etats à respecter leurs engagements.
Minimisation des coûts d'abattement et efficacité allocative	Politiques sectorielles nationales isolées, dans une logique de transition vers des mécanismes transnationaux. Limitation des effets redistributifs potentiels des mécanismes de marché carbone. Prise en compte des besoins spécifiques de <i>capacity building</i> au niveau de chaque secteur.
Incitations à l'innovation et au partage de technologies	Contributions ex ante des pays développés aux politiques sectorielles d'abattement dans les PED, sous forme de transfert de technologie.
Efficacité sur le plan administratif	Définition d'objectifs et d'indicateurs adaptés aux contraintes locales en matière de mesure des émissions et de collecte d'information.
Aspects politiques	L'approche bottom-up rend plus acceptable pour les PED le fait de s'engager sur des objectifs quantifiés.

Liste des principales valorisations de recherches

Articles scientifiques

Glachant M., Nicolai J.-P., *en préparation*. Innovation and abatement commitments in climate treaties . *In: Conference of Environmental Economics*, 3 octobre 2012, Paris, Collège de France.

Glachant M. et Jacquet P., *soumis*. Environmental or R&D cooperation in transnational sectoral agreements. *In : Conférence Mondiale de l'Economie de l'Environnement*, 28 juin au 2 juillet 2010, Montréal. *Environmental and Resource Economics*.

Livre de vulgarisation

Crifo P., Glachant M., Hallegatte S., Laurent E., Raphaël G., 2012. Pour une politique industrielle et d'innovation technologique. *In : L'économie verte contre la crise : 30 propositions pour une France plus soutenable* (Crifo P., Glachant M., Hallegatte S., Laurent E., Raphaël R., eds.), Presses Universitaires de France, Paris, 43-57.

Rapport de fin d'étude

Jacquet P., 2009. Les approches sectorielles, mémoire de master EDDEE, Université de Paris 10, Nanterre, 65 p.

Expertise

Participation en 2011 de Matthieu Glachant au « Comité Trajectoires 2020 – 2050 : vers une économie sobre en carbone » (présidé par Christian de Perthuis). Matthieu Glachant était en charge de la réflexion sur le transfert international des technologies à bas carbone.

Enseignement

Matthieu Glachant, création en 2011 d'un Cours d'économie de l'environnement à MINES ParisTech (Cycle Ingénieurs Civils).

Communication dans les médias

Pour un vrai printemps de l'économie verte ! Tribune publiée dans Libération, 10 juin 2012, Patricia Crifo, Matthieu Glachant, Stéphane Hallegatte, Eloi Laurent. Elle milite entre autres pour des accords sectoriels pour développer des politiques industrielles coopératives au niveau international.

SYSTÈME INTÉGRÉ DE SUIVI ET D'ÉVALUATION SUR LE CLIMAT À PARTIR DE COP-15

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 16 août 2009

Montant du budget : 151 840 € TTC dont 112 600 € TTC de subvention du MEDDE

Coordinateurs

Richard Loulou
KANLO Consultants
Espace DMCI
41, Quai Fulchiron
69 005 Lyon

Alain Haurie
ORDECSYS
4, Place de l'Etrier
CH-1224 Chêne Bougeries
SUISSE

Partenaires

Professeur Neil Edwards – Open University, Milton Keynes, Royaume-Uni

Mots-clés : analyse intégrée, exploitation de modèles en ligne, équilibres économiques internationaux, équilibres avec contrainte d'émission couplée, impacts des changements climatiques, prise en compte des incertitudes, ensembles de simulation et optimisation robuste

Objectifs des recherches

Il s'agissait de proposer une modélisation intégrée permettant d'évaluer les aspects économiques, énergétiques, technologiques et climatiques des décisions pouvant être prises lors des 15^{ème} et 16^{ème} conférences des parties. Cette modélisation intègre la prise en compte d'incertitudes économiques, énergétiques et climatiques. L'objectif était de mettre à disposition des décideurs durant les conférences des parties l'ensemble des outils et résultats grâce à un site Internet interactif : les décideurs pouvant interagir en choisissant les scénarios à explorer, en consultant de nombreux documents audio et vidéo et en échangeant entre eux et avec les modélisateurs via un forum dédié.

Présentation des travaux

Introduction

L'objectif général du projet est de proposer, à partir de trois modèles complémentaires existants calibrés, un environnement intégré facilitant le dialogue entre, d'une part, les modélisateurs de l'évolution du climat et de ses impacts socio-économiques, et, d'autre part, les acteurs impliqués dans l'élaboration des politiques et des accords internationaux. Cet environnement permet l'évaluation des différentes propositions de régime climatique étudiées en vue des COP-15 et COP-16 en termes de réductions d'émissions sectorielles, de coûts, de prix sur le marché de carbone, *etc.* Une évaluation des impacts régionaux du changement climatique complète l'analyse technico-économique. Le système fournit aussi un suivi des politiques climatiques en vue d'atteindre les objectifs de Kyoto et, éventuellement, ceux de la période post-2012 résultant des négociations COP-15 et COP-16.

Le projet proposé devait permettre de répondre directement aux questions soulevées en matière de :

- **Politiques climatiques et négociations internationales** : informations sur les décisions technologiques et énergétiques à prendre, les coûts engendrés, ainsi que la répartition des efforts de réduction entre les différents pays ;
- **Adaptation du système technico-énergétique** : changements énergétiques et technologiques nécessaires au plan sectoriel en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre ;
- **Impacts** (changements de température, de précipitation, de biome) et donc **besoins d'adaptation des sociétés** au plan régional et en tenant compte des incertitudes climatiques.

Les scénarios évalués représentaient les propositions en cours de négociation pour la période post 2012. Les questions traitées concernaient :

- la représentation des politiques de réduction des émissions et leur imbrication au niveau français, en tenant compte : (a) des différents plans régionaux ou sectoriels en lien direct ou indirect avec les politiques climatiques, tels que les Grenelle de l'environnement en France, les directives européennes (Système Européen d'Échanges d'Émissions, Énergie renouvelable), (b) des différentes cibles de réduction visées, (c) des différents régimes possibles (coopération mondiale, fragmentation en plusieurs groupes, refus de participer de certains pays) ;
- l'impact économique de diverses formes de marchés internationaux de droits négociés ;
- les conséquences d'une fragmentation des politiques climatiques par rapport à une large coopération ;
- la menace d'utilisation de droits de douane assis sur le contenu en carbone comme un incitatif à la coopération climatique ;
- l'efficacité et les coûts d'accords sectoriels et de transferts technologiques ;
- les choix technologiques impliqués par diverses politiques de réduction des émissions ou d'adaptation ;
- l'impact régional des modifications possibles du climat représenté à l'aide de variables indicatrices reliées à la température, aux précipitations, aux changements de biome (éco-région), *etc.* ;
- la définition d'objectifs climatiques globaux, en termes de variation de température ou de forçage radiatif ;
- l'identification des principales sources d'incertitude et de leur combinaison dans l'interprétation des simulations ;
- l'effet des incertitudes paramétriques sur la mise en place d'un principe de précaution.

Matériels et méthodes

Nous commençons par brièvement présenter les trois modèles choisis dans ce projet.

Le modèle **TIAM-World** (TIMES Integrated Assessment Model) est la plus récente incarnation au niveau mondial de la famille des modèles technico-économiques TIMES. Il est basé sur une représentation fine de l'ensemble du système énergétique mondial à 16 régions et permet la modélisation à long terme (2005-2100) de scénarios technico-économiques dans le domaine de l'énergie et des émissions atmosphériques. Il a été développé sous le parrainage de l'ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Programme www.etsap.org/documentation), un consortium de chercheurs de 15 pays sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Énergie. Amit Kanudia, Maryse Labriet et Richard Loulou, qui font partie de l'équipe du projet, sont les principaux concepteurs de TIAM-World et des bases de données qui l'alimentent.

Le modèle **GEMINI-E3** (A General Equilibrium Model of International National Interaction for Economy – Energy – Environment) a été développé et géré conjointement par Alain Bernard (Conseil Général des Ponts et Chaussées) et par Marc Vielle (économiste à l'EPFL, membre de l'équipe de ce projet). GEMINI-E3 est un modèle d'équilibre général calculable décrivant l'économie mondiale en 28 régions et pays et en 14 produits et secteurs en accordant une place toute particulière à l'énergie puisque 5 secteurs et produits énergétiques sont décrits. Il intègre une description des gaz à effet de serre du panier Kyoto. La version actuelle a largement bénéficié de l'expérience accumulée depuis presque 8 ans.

L'utilisation de ces deux modèles, fonctionnant selon des principes différents, permet de répondre à des questions complémentaires (par exemple, plus de détails technologiques dans l'un, informations macro-économiques plus détaillées pour l'autre). De plus, certaines des données des modèles (projections de PIB et de population, prix de l'énergie) seront harmonisées entre les deux modèles (voir plus loin).

Le modèle **GENIE** concerne les impacts des perturbations anthropiques sur le climat et le cycle de carbone à long terme qui suscitent des interactions complexes entre tous les composants du système climatique naturel : océan, atmosphère, glace de mer, biosphères terrestre et océanique et calotte glaciaire. Les modèles dits des Sciences de la Terre (Earth science models ou ESMs) représentent toutes ces sphères et les interactions entre elles. Parmi ces modèles, GENIE (Grid-Enabled Integrated Earth system model), est un ESM configuré pour une grille de calcul de complexité intermédiaire, où les répartitions régionales des températures et flux en deux ou trois dimensions sont représentées, tandis que les coûts de calcul extrêmes des grands modèles très détaillés sont évités principalement par une réduction de la résolution spatiale. GENIE est en réalité une gamme de modèles avec plusieurs modules interchangeables.

Résultats et discussion

Un effort intense a été consacré au développement d'une méthodologie permettant de construire un ensemble de simulations numériques coordonnées, intégrées et robustes pouvant éclairer des négociations climatiques internationales à venir. Cela a nécessité 1) une adaptation des modèles afin de faciliter leur coordination 2) une prise en compte des incertitudes lors des simulations afin de proposer des recommandations robustes et 3) la mise en place d'un outil interactif pour communiquer ces recommandations aux négociateurs et décideurs.

Adaptation et coordination des modèles

L'originalité de ce projet est d'utiliser de manière coordonnée 3 modèles totalement différents. Il a fallu harmoniser les modèles de telle sorte qu'ils puissent fonctionner de façon coordonnée.

- Les principales adaptations du modèle énergétique TIAM-World résident dans la mise à jour de nombreuses données économiques, énergétiques et climatiques, en plus du travail de coordination avec les deux autres modèles du projet (voir plus bas).
- La principale modification du modèle climatique GENIE réside dans l'utilisation d'un émulateur statistique à la place du modèle lui-même, ce qui permet de calculer des résultats probabilistes très proches des résultats du modèle lui-même, mais dans des temps de calcul très courts, alors que le modèle lui-même est très gourmand en temps de calcul. Cela permet de ramener les temps de calcul au même ordre de grandeur que ceux des deux autres modèles.
- L'utilisation coordonnée des trois modèles se fait comme indiqué dans la figure 1. Des informations sont échangées entre TIAM-World et GEMINI-E3 sur la période 2005-2030 (prix des énergies, capacités de production et de conversion énergétique installées, croissances sectorielles), et TIAM-World propose un résultat couvrant la période 2005-2105. TIAM-World prend en compte l'impact du changement climatique grâce à un module climatique simplifié. Ce dernier envoie ses conclusions (trajectoires des émissions de GES durant le siècle à venir) au modèle GENIE qui donne à son tour des résultats climatiques détaillés (températures, précipitations, carbone dans la végétation et couverture végétale) de plus grande précision.

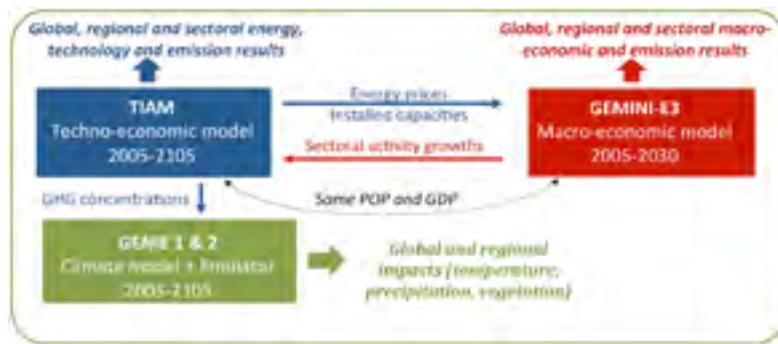


Figure 1. Représentation du fonctionnement de l'utilisation coordonnée des trois modèles TIAM, GENIE et GEMINI-E3

- L'émulateur du modèle GENIE est calibré a priori, à partir d'un grand nombre de scénarios d'évolution climatique probables. C'est une approximation des fonctions de réponses du modèle d'origine (fonctions explicites polynomiales des paramètres d'entrée du modèle).
- Ces modèles sont employés sur un ensemble de scénarios illustrant divers résultats possibles des négociations durant les conférences des Parties. Ils sont donc un outil d'évaluation de nombreux paramètres de politiques locales ou globales d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

Prise en compte d'incertitudes

La prise en compte de l'incertitude est primordiale dans les modélisations de long terme pour lesquels de nombreux paramètres sont incertains (économie, environnement, *etc.*). De plus, l'important outil face au changement climatique qu'est la politique d'adaptation ne peut se modéliser sans prendre en compte l'incertitude : s'adapter c'est prendre une décision suite à une nouvelle information qui n'était pas connue *a priori*. Seules des techniques d'optimisation sous incertitude permettent une telle adaptation à l'événement aléatoire. Dans ce projet nous utilisons un panel important de techniques : la programmation stochastique, la programmation robuste et les techniques dites de *Monte-Carlo*. L'application de ces techniques demande prudence et rigueur scientifique, car elles augmentent considérablement la taille des problèmes traités, qui sont déjà *a priori* d'importants problèmes d'optimisation.

Nous proposons une approche duale, fondée sur l'utilisation combinée de la programmation stochastique et des simulations Monte-Carlo (MC) pour faire face à ces incertitudes dans une analyse technico-économique impliquant deux

modèles complémentaires. Une approche par programmation stochastique est mise en œuvre sur le modèle *bottom-up* d'évaluation intégrée TIAM-World (Loulou et Labriet, 2008). Le modèle propose une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre entre aujourd'hui et 2030 suivie par quatre politiques de recours possibles compatibles avec un objectif de limitation de l'augmentation de la température à 2,1°C en 2100 maximum, selon des hypothèses raisonnables sur le coefficient de sensibilité climatique, le Cs (Andronova et Schlesinger, 2001).

Pour tenir compte de l'impact de ces autres sources d'incertitude sur l'évaluation de la politique climatique nous utilisons une simulation de Monte-Carlo sur le modèle d'équilibre général calculable GEMINI-E3 (Bernard et Vielle, 2008), spécifiquement conçu pour évaluer les politiques climatiques et qui est géré de manière harmonisée avec TIAM-World. Nous prenons en compte plusieurs sources d'incertitude relatives à l'environnement économique général et technologique, en utilisant des simulations échantillonnées par des méthodes d'hypercubes latins (Iman et Helton, 1988) pour obtenir des fonctions de densité de probabilité pour les variables de sortie de GEMINI-E3, telles que le bien-être, la réduction des émissions, *etc.*

Nous proposons de traiter du problème de sécurité de l'approvisionnement énergétique grâce à une approche originale : l'application de l'optimisation robuste au modèle TIAM-World. Les réseaux d'approvisionnement énergétique d'une région donnée sont soumis à des événements aléatoires, entraînant la fermeture partielle ou totale d'une route (corridor). Par exemple, un oléoduc peut être soumis à des problèmes techniques qui réduisent sa capacité d'approvisionnement, ou bien encore l'acheminement des navires pétroliers peut être rendu difficile pour des raisons politiques ou matérielles, *etc.* Dans ce projet, nous nous intéressons à améliorer la sécurité d'approvisionnement du système énergétique européen. Les résultats montrent qu'une augmentation de la sécurité peut être obtenue par la diversification des sources d'énergie, l'augmentation du nombre de corridors, la diminution de la consommation énergétique, l'investissement dans les technologies de stockage et de transport plus sécuritaires.

Le modèle GENIE prend en compte plusieurs incertitudes : celle liée au forçage radiatif (l'évolution des émissions de gaz à effet de serre et l'utilisation des sols à l'avenir sont inconnues) et ce que l'on appelle les incertitudes liées à la modélisation (incertitude paramétrique et incertitude structurelle). Les émulateurs de GENIE-1 permettent de calculer des valeurs moyennes pour l'augmentation de la température de surface, le stockage de carbone terrestre et la couverture végétale terrestre. Pour ces 3 paramètres, nous avons créé 4

émulateurs pour 4 régions du monde. Les émulateurs de GENIE-2 appliquent une technique de réduction d'échelle pour les valeurs des précipitations (50% de la variance des simulations est représenté au max.) et les températures (90% de la variance des simulations représentée) afin de représenter des cartes en 2 dimensions des valeurs moyennes et d'une estimation de l'incertitude. Pour GENIE-2, l'émulateur (<1 seconde) est 60 millions de fois plus rapide que le modèle lui-même.

Développement d'un site Internet interactif dédié

Un site Internet interactif (<http://synscop15.ordecys.com/>) permettant à la fois une large diffusion des résultats des simulations ainsi qu'une évaluation rapide et simple de nouvelles politiques environnementales a été spécialement conçu. Ce site a pour vocation de faciliter et d'amplifier le dialogue entre, d'un côté, les modélisateurs et la communauté scientifique, et de l'autre, les acteurs du développement durable et politiques. Les différentes fonctionnalités qu'offre ce site Internet sont les suivantes.

- En premier lieu, il permet de consulter une base de données conséquente contenant les impacts économiques, énergétiques et climatiques pour un ensemble de scénarios d'engagements post-Copenhague. Les divers scénarios politiques étudiés jusqu'à présent couvrent un large éventail de politiques au niveau international et sont compatibles avec les différents accords en vigueur.
- Ensuite, le site Internet met l'accent sur la nature incertaine des résultats produits par les divers modèles. Plusieurs méthodologies ont ainsi été proposées et mises en œuvre afin de mesurer et d'appréhender l'impact des différentes sources d'incertitude présentes dans chacun des trois modèles. Ces travaux qui sont résumés sur le site Internet ont donné lieu à des publications scientifiques.
- Enfin, la dernière fonctionnalité du site Internet, particulièrement innovante, est la mise en ligne d'un espace interactif accessible à tous les acteurs du climat. Cet espace offre la possibilité aux utilisateurs de spécifier leurs propres variantes de scénarios politiques et d'en observer les conséquences en ligne. Évidemment, l'intérêt d'un tel service va bien au delà du terme du projet Synscop15. Ainsi et afin d'assurer la pérennité et l'exploitation du site Synscop15, la société ORDECSYS maintiendra le site Internet et les différents modélisateurs (ENERIS pour TIAM-World, Open University pour GENIE et ORDECSYS/EPFL pour GEMINI-E3) se proposent de répondre favorablement à toute nouvelle demande de simulations de scénarios politiques, sur une base contractuelle à définir.

Conclusions et perspectives

Les travaux réalisés dans le cadre du projet Synscop-15 ont permis :

- la mise en place des 3 modèles complémentaires, TIAM-World, GEMINI-E3 et GENIE pour réaliser des analyses intégrées de scénarios climatiques et techno-économiques ;
- la mise en œuvre d'une méthode d'émulation statistique des modèles GENIE-1 et GENIE-2 qui nous permet maintenant de fournir sans délai des réponses à des requêtes concernant l'effet sur les variables climatiques de différents profils d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre ;
- le développement d'un site Internet décrivant différents scénarios, donnant une information utile sur les modèles employés et permettant l'exploitation interactive des résultats de simulation ;
- la construction d'un système d'exploration des résultats de ces simulations qui permet d'afficher, sous forme comparée pour deux scénarios contrastés, l'évolution dans le temps de différents indicateurs économiques, énergétique, climatiques.

Il serait intéressant de faire évoluer le site Internet, pour y inclure des simulations correspondant aux propositions faites et aux décisions prises au cours des COPs successives. La section interactive du site pourrait être largement diffusée auprès des acteurs pouvant utiliser ces modèles comme des outils d'aide à la négociation. Cette diffusion pourra se faire en utilisant les réseaux de communications du GICC, de l'ADEME et des différents ministères impliqués.

Acquis en termes de transfert

Les travaux réalisés dans le cadre du projet Synscop-15 ont permis d'atteindre les deux objectifs suivants : 1) mettre à disposition des acteurs du climat, des outils et modèles d'évaluation de politiques environnementales globales et 2) exploiter ces outils sur un ensemble de scénarios couvrant un large éventail de politiques au niveau international afin d'en simuler les impacts économiques, énergétiques et climatiques.

Afin d'atteindre ces deux objectifs, un ensemble de scénarios politiques a été défini. Les évaluations de ces politiques ont ensuite été réalisées à partir des modèles économiques GEMINI-E3, énergétique TIAM-World et climatique GENIE, qui sont reconnus et couramment exploités dans ce type d'étude et finalement mis en ligne sur le site Internet interactif.

Lors de la première phase du projet, préparant COP-15, cinq scénarios qui, ex-post, encadrent bien les résultats des négociations de Copenhague, ont été élaborés et simulés. Dans la seconde phase du projet (post COP-15), nous avons réalisé une analyse des décisions prises durant la conférence de Copenhague et mis de nouveaux outils à disposition pour préparer les négociations de la 16^{ème} Conférence des Parties de Cancun. Cela a abouti aux résultats suivants :

- la mise à disposition pour un ensemble d'experts et négociateurs agréés d'un espace collaboratif permettant d'explorer un ensemble élargi de scénarios, d'échanger avec les modélisateurs et entre eux, et enfin de faire d'éventuelles demandes de nouveaux scénarios ;
- l'élaboration de 8 nouveaux scénarios pour préparer les négociations de Cancun ; l'ajout de cartes de précipitations dans les résultats climatiques générées à partir du modèle GENIE ;
- la diffusion et la promotion des travaux réalisés à travers des événements et publications scientifiques ;
- le forum interactif du site Internet a été mis en ligne début 2010, les scénarios préparant Cancun ont été mis en ligne fin 2010, les méthodologies de prise en compte de l'incertitude ont été publiées en ligne début 2011, et ont été acceptés pour publication dans des revues internationales.

Les résultats des simulations peuvent être résumés comme suit. Atteindre l'objectif de limiter l'augmentation de la température à 2°C comparé à l'ère pré-industrielle est une tâche difficile : il faut une coopération maximale (entre les pays de l'OCDE, le Brésil, la Russie, la Chine, l'Inde et l'Afrique du Sud), des engagements plus forts que ceux déjà pris, la mise en place de ces engagements le plus tôt possible (avant 2030 dans tous les cas de figure), et des investissements conjoints dans des politiques d'atténuation et d'adaptation, puisque les changements climatiques existeront, quels que soient les engagements lors des futures négociations.

Diffusion des résultats et interactivité

Diffuser le fruit de ce projet grâce à un site Internet permet de répondre à plusieurs critères. Tout d'abord, cela a donné aux décideurs un accès aux résultats des simulations des négociations durant COP-15 et COP-16. Ensuite, cela permet de diffuser à la communauté scientifique les nouvelles contributions en termes de modélisation de l'incertitude et de l'harmonisation des modèles.

Nous voulions aussi que le site Internet soit le plus interactif possible. C'est pour cela que les résultats sont fournis via un explorateur de scénario, qui permet de facilement choisir et comparer des scénarios de négociations. Ensuite, nous avons créé un forum interactif afin que les décideurs puissent interagir entre eux et avec les modélisateurs, dans le cas par exemple de la demande de calculs supplémentaires ou de résultats complémentaires.

Nous avons tenté de simplifier l'accès aux résultats et aux techniques en proposant des animations sonores et visuelles dans la majeure partie des sections du site Internet.



Figure 2. Page d'accueil du site Internet du modèle intégré SynscOP15

Liste des principales valorisations des recherches

Site internet

Le site internet du projet <http://synscop15.ordecys.com/> est la principale valorisation du projet. On y retrouve l'ensemble des méthodes développées, les résultats de modèles pour de nombreux scénarios de résultats de négociations, les références des articles scientifiques et rapports techniques, ainsi que de nombreux documents audio et vidéo.

Livre édité

Filar J.-A and Haurie A., 2010. *Environmental Decision Making under Uncertainty, A Handbook of Research and Best Practice*, International Series in Operations Research and Management Science, Springer US, 338 p.

Articles scientifiques publiés

Babonneau F., Kanudia A., Labriet M., Loulou R., and Vial J.P., 2012. Energy security: a robust optimization approach to design a robust European energy supply via TIAM. *Environmental Modeling and Assessment*, 17(1), 19–37.

Babonneau F., Vielle M., Haurie A. Loulou R., 2012. Combining Stochastic Optimization and Monte-Carlo Simulation to Deal with Uncertainties in Climate Policy Assessment. *Environmental Modeling and Assessment*, 17(1), 51–76.

Haurie A., Vielle M., 2011. A Metamodel of the Oil Game under Climate Treaties, *INFOR*, 48(4), 215–228.

Holden P. B., Edwards N. R., 2010. Dimensionally reduced emulation of an AOGCM for application to integrated assessment modelling. *Geophysical Research Letters*, [en ligne], 37 (21) L21707, doi:10.1029/2010GL045137.

Labriet M., Kanudia A., Loulou R., 2012. Climate mitigation under an uncertain technology future: a TIAM-WORLD analysis. *Energy Economics*, [en ligne], 34, Supplement 3, S366–S377.

Articles soumis

Labriet M., Drouet L., Vielle M., Haurie A., Kanudia A. and Loulou R., *en révision*. Coupled bottom-up and top-down modelling to investigate cooperative climate policies. *Annals of Operation Research*, Special Volume on Collaborative Environmental Management and Modelling.

Kanudia A., De Miglio R., Gargiulo M., Gerboni R., Labriet M., Lavagno E., Loulou R., Schranz L., Tosato G.C., *en révision*. Modelling EU-GCC energy systems and trade corridors: long term sustainable, clean and secure scenarios. *International Journal of Energy Sector Management*, special issue on EU-GCC Clean Energy Cooperation.

Participations à des colloques nationaux ou internationaux

International Energy Workshop, juin 2010, Stockholm, Suède (présentation sur <http://gemini-e3.epfl.ch/files/content/sites/gemini-e3/files/shared/Integrated%20system%20for%20climate%20negotiations>).

Emulation and probabilistic climate predictions. Holden, P.B., Edwards, N.R., Oliver, K.I.C., Lenton, T.M and Wilkinson R.D. In Probabilistic climate prediction on multi-decadal to multi-centennial time scales, EGU, Vienna, April 2010.

Communications dans les médias

Actualités du site internet d'Open University : <http://www3.open.ac.uk/media/fullstory.aspx?id=17561>

Projet EU-FP7 ERMITAGE

La philosophie du *Système intégré de suivi et d'évaluation sur le climat à partir de COP-15* et l'approche basée sur l'utilisation coordonnée de modèles de simulation numérique de l'évolution du climat, de la macro-économie et des systèmes énergétiques, avec prise en compte explicite de l'incertain, a été reprise et développée dans le projet européen ERMITAGE (*Enhancing Robustness and Model Integration for the Assessment of Global Environmental Change*), dirigé par Open U. (Neil Edwards) auquel toute l'équipe de Synscop15 participe, en collaboration avec des équipes de PIK, East Anglia U. et Manchester U. Le succès de ce projet européen, qui se termine en automne 2013, est dû en grande partie à l'expérience acquise avec ce projet GICC.

Bibliographie

Andronova N., Schlesinger M. E., 2001. Objective estimation of the probability distribution for climate sensitivity. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 106 (D 19), 22605–22611.

Bernard A., Vielle M., 2008. GEMINI-E3, a General Equilibrium Model of International National Interactions between Economy, Energy and the Environment. *Computational Management Science*, 5, 173–206.

Iman R., Helton J., 1988. An investigation of uncertainty and sensitivity analysis techniques for computer models. *Risk Analysis*, 8(1), 71–90.

Loulou R., Labriet M., 2008. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model Part I: Model structure. *Computational Management Science*, Special issue “Managing Energy and the Environment”, 5 (1), 7–40.

LES BUDGETS CARBONE INDIVIDUELS, DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 2009

Montant du budget : 76 052 € TTC dont 59 000 € TTC de financement
MEDDE

Cofinancements obtenus : Autofinancement TEC, 25,41%

Coordinateur

Ghislain Dubois, Directeur

Tourisme, Transport, Territoires, Environnement Conseil (TEC)

38, rue Sénac de Meilhan

13 001 Marseille

Email : dubois.ghislain@tec-conseil.com

www.tec.conseil.com

Mots-clés : atténuation, consommation, budget carbone, ménages, individus

Objectifs des recherches

Le développement de politiques incitatives et d'instruments comme le budget carbone met en évidence les lacunes importantes en termes de compréhension qualitative des formes de réception, d'usages et d'arbitrages spécifiques développés par les individus.

Le projet cherchait à répondre aux **objectifs suivants**.

En amont, comprendre **les modes de vie bas carbone** :

- étudier la micro-économie du carbone à travers les comportements et arbitrages des ménages soumis à un double budget, carbone et monétaire, et comprendre les déterminants socioculturels de ces arbitrages ;
- émettre des recommandations en vue du développement d'outils d'accompagnement des ménages, en termes de sensibilisation et d'action ;

En toile de fond, **tester les budgets carbone** :

- étudier l'acceptabilité sociale des outils de politique publique de type budget carbone personnel. Dans le déroulement de la recherche, cet objectif a été finalement moins mis en œuvre que les deux précédents : la notion de budget carbone personnel est nouvelle, les ménages comprennent encore peu ce qu'elle représente, et le travail s'est concentré sur la question de l'arbitrage.

Présentation des travaux

Introduction : rétablir le citoyen dans les politiques climatiques

Le citoyen ne serait-il pas le grand oublié des politiques climatiques ?

Aujourd'hui, les politiques climatiques sont essentiellement conçues à une échelle « macro » et selon une vision « production/territoire ». Au-delà de l'intérêt limité de cette approche (problèmes de fuite carbone et d'inégalités en premier lieu), l'individu est aujourd'hui mis à la marge alors qu'il dispose pourtant de leviers d'action comportementaux via ses actes de consommation et est au final le principal concerné par les effets de ces politiques.

Face à ce constat un certain nombre d'auteurs recommandent des approches plus équilibrées entre consommation et production, entre micro et macro, dans la conception des futures politiques. Il s'agit d'assurer un va et vient entre les pôles de ces deux échelles, et par la même de considérer à hauteur de son importance la question des modes de vie : partir de « modes de vie durables », construits sur un corps de « bonnes pratiques », pour les agréger dans des visions collectives, ou désagréger des scénarios macro-économiques à long terme pour analyser leurs conséquences sur les modes de vie à plus court terme. Et, in fine, définir des régimes climatiques qui combinent des objectifs territoriaux ou sectoriels en termes de production, avec la vision d'une distribution acceptable des émissions par personne liées à la consommation des ménages.

Le projet « Les budgets carbone individuels, de la théorie à la pratique » vise à contribuer à cette approche de consommation. Il s'agit de comprendre, à partir d'un dispositif expérimental, la réalisation d'un audit carbone et la simulation d'une réduction de 50% de l'empreinte carbone obtenue, les déterminants micro-économiques et facteurs psychoculturels expliquant les arbitrages des ménages, pour finalement aboutir à un certain nombre de recommandations sur les discours et actions d'accompagnement possibles de ces ménages.

Matériels et méthodes : concilier économie expérimentale et approche socio-anthropologique

Un protocole lourd...

Situé à la frontière de l'économie expérimentale et de la socio-anthropologie, ce projet articule un protocole complexe (2 à 3 jours de travail par ménage enquêté) avec une approche qualitative et des phases plus chiffrées. Un certain nombre d'outils ont ainsi été développés pour les besoins du projet : l'Audit Carbone Individuel (ACI) permettant de mesurer l'empreinte carbone initiale du ménage ainsi que le simulateur de réduction de l'empreinte et son catalogue de solutions personnalisées.

...pour un échantillon de qualité

Au regard de la longueur du protocole et de la méthode d'approche anthropo-sociologique retenue, il a été décidé de sélectionner un petit échantillon de 30 ménages pour réaliser des simulations approfondies. Le choix de la méthode d'échantillonnage a été conditionné par la nécessité de disposer d'individus qui d'une part soient disponibles et aptes à comprendre la démarche et qui d'autre part disposent d'un minimum de marges d'action. Les catégories socioprofessionnelles les plus extrêmes ont donc été exclues volontairement. Compte tenu des contraintes initiales inhérentes à cet exercice, il a été décidé de retenir une approche d'échantillonnage essentiellement qualitative se basant sur le recrutement de ménages volontaires à partir de critères objectifs (catégorie socio professionnelle, niveau de salaire, sexe, âge, lieu de vie, situation matrimoniale, logement et région de résidence). La méthode de sélection, couplée à l'analyse qualitative de notre échantillon, nous a permis de disposer d'un panel de ménages extrêmement diversifié tant au regard des critères d'analyse classique qu'au travers de l'analyse de leurs modes de vie, attitudes et pratiques. Les classes moyennes supérieures sont légèrement surreprésentées ; on ne peut d'ailleurs prétendre à une quelconque représentativité de la société française dans les résultats. Il n'en demeure pas moins qu'une diversité de situation a pu être approchée. Aussi, l'empreinte carbone moyenne des ménages est-elle très dispersée, et la moyenne des résultats est conforme aux enseignements de travaux quantitatifs sur le sujet (émissions totales et prépondérance des postes transport et logement dans l'empreinte carbone des ménages par exemple).

Résultats et discussion autour des arbitrages des ménages face à un budget carbone

Vivre et penser « bas carbone », est a priori possible

L'enquête a permis de montrer, qu'au-delà d'une réduction moyenne de 37% obtenu par l'échantillon, un mode de vie bas carbone à -50% était néanmoins tout à fait accessible à différentes catégories de revenus et d'empreintes carbone initiales, avec plus ou moins d'obstacles ou de leviers néanmoins (financier, culturel *etc.*). Sensibilité spontanée aux questions de changement climatique, capacité à interroger son mode de vie actuel et à se projeter dans l'exercice de simulation d'une vie bas carbone, tout laisse à penser qu'il est par ailleurs aujourd'hui assez facile de s'approprier les questions de carbone.

Le logement et l'alimentation avant les transports

Les ménages ont plébiscité très clairement les actions relatives au logement, à l'alimentation et autres postes de consommation (vêtements, *etc.*). Un résultat corroboré par l'analyse de l'ordre des choix, des premiers choix (choix spontanés) et des choix sous contrainte, et du rapport entre gisement exploitable et gisement exploité. Ce constat montre clairement une nette préférence des ménages pour des choix qui entrent en résonance avec d'autres leviers :

- santé, goût, plaisir dans l'alimentation : moins de viande sans y renoncer, autoproduction, aliments locaux, fin de l'eau en bouteille. En revanche, pas de renoncement aux plaisirs de la table et à la convivialité des repas extérieurs ;
- qualité et confort de vie dans le logement : changement de chaudière, écogestes de maîtrise de l'énergie, achats d'électroménagers à basse consommation... à des moments clés de la vie seulement ;
- valeurs de solidarité et choix d'une consommation raisonnée et responsable sur les autres postes de consommation (moins d'achats, électroménager basse consommation, vêtements locaux) mais qui payent finalement peu en termes de carbone.

Alors que les transports représentent la clé du problème (52% du gisement de réduction proposé), il est peu sollicité pour diverses raisons :

- contrainte liée à son lieu de vie pour la voiture ; quelques efforts consentis (kilométrage, véhicule plus écologique) mais impossibilité d'y renoncer, surtout en milieu rural (distance au lieu de travail) ;
- raison hédoniste pour l'avion : des efforts sont consentis sur le court et le moyen courrier qu'il est envisageable de remplacer par le train, mais

il subsiste une grande difficulté à y renoncer. L'avion est aujourd'hui un marqueur social.

Au final, une rationalité carbone et financière limitée dans les choix

Les ménages ont finalement du mal à réfléchir avec un double budget carbone et financier ; l'élément financier n'est, et de loin, pas le seul critère de décision, et n'est souvent pas prépondérant : **c'est d'abord l'adéquation de la solution à la situation du ménage, à son mode de vie et à ses priorités ou contraintes qui joue**. C'est seulement sous contrainte, lorsque les ménages sont sommés de réduire plus, qu'une réflexion plus stratégique s'installe.

Le passage à un mode de vie bas carbone n'est pas qu'une question de volonté

L'analyse a permis de percevoir la subtilité des contraintes et des arguments pour chacun des ménages. Outre une forte volonté d'agir pour certains individus, la **réussite de l'exercice est souvent conditionnée par l'existence d'un levier « facile »** (remplacement d'une grosse chaudière vétuste par exemple) ou **des moyens financiers importants**. Les facteurs d'échec sont liés à une situation bloquée (locataire, rural et sa voiture) ou financières (travaux), un mauvais tempo (logement acquis et mal rénové récemment). Ils tiennent aussi au refus de renoncer à certains postes (toujours l'avion) ou encore à une empreinte carbone initiale déjà faible.

Un mode de vie qui ne coûte pas forcément plus cher...

Le passage à un mode de vie bas carbone peut être un coût ou une économie, selon la situation de départ et les choix opérés. Plus l'objectif est ambitieux, plus le bilan va vers une économie financière, étant donné les renoncements incontournables. L'impact moyen pour notre échantillon est de 29 euros par mois. Les revenus supérieurs vont globalement vers des stratégies de remplacement qui impliquent d'importants efforts financiers, alors que les bas et moyens salaires s'orientent plus vers des stratégies comportementales de renoncement ou de réduction de leur empreinte, impliquant alors une baisse de budget. La question des inégalités ne doit pas être oubliée : les individus aisés pourraient s'en sortir partiellement en payant, les plus pauvres en faisant une croix sur leur confort.

...et qui tente de réconcilier aspirations personnelles, harmonie collective et préservation environnementale

La vie bas carbone imaginée par les ménages semble s'orienter non vers une modification radicale de leur mode de vie mais vise plutôt la recherche d'un profond équilibre et la conciliation entre valeurs personnelles (confort, qualité

de vie, santé, plaisir), bien être collectif (renforcement des solidarités locales, harmonie collective) et préservation de l'environnement (anti-gaspillage, exploitation maîtrisée des ressources). Il y a une certaine forme d'austérité dans les choix (on consomme moins, plus cher, plus écolo). En effet, une société sobre suppose de se tourner vers des produits plus chers (alimentation, vêtements) donc à admettre une baisse du niveau de vie au moins apparente pour certains ménages. Toutefois, cette austérité semble aussi compensée par l'amélioration de la qualité de vie, la mise en adéquation de son comportement avec ses valeurs environnementales, et le maintien final d'un certain style de vie (sociabilité, plaisir de la table *etc.*).

On sent ainsi, en rassemblant les choix des ménages dans une description de leurs modes de vie futurs, que ces derniers seront le résultat d'un ensemble d'évolutions dans tous les domaines avec à la fois une somme de nouveaux comportements à pérenniser, « routiniser », et quelques décisions plus lourdes. Globalement, le mode de vie du ménage et ses priorités n'est pas fondamentalement remis en cause, **il est plutôt « lissé » ou « optimisé » afin de répondre à cette contrainte carbone. Avec une réduction moyenne de 37% des émissions, les modes de vie obtenus ne sont pas révolutionnaires et on est bien en deçà de ce que les scientifiques demandent pour 2050 pour atteindre l'objectif de +2°C.**

Acquis en termes de transfert

En dépit des limites méthodologiques, il est possible de dégager un certain nombre de constats forts, qui donnent à la fois matière à réflexion et à discussion pour les politiques publiques et permettent de poser les hypothèses de nouveaux travaux.

Quelle prise en compte des inégalités face au carbone ?

L'analyse du mode de vie des ménages et du discours de justification de leur choix (ou de leur non-choix) révèle des contraintes objectives et des contraintes ressenties au passage à l'acte :

- **les contraintes objectives** sont nécessairement à prendre en compte dans les politiques publiques pour ne pas fragiliser des ménages ou mener à des situations impossibles : le fait d'être locataire, l'utilisation contrainte de la voiture pour le trajet domicile-travail, certains moments de la vie peu propices aux diminutions de consommation carbone (avoir déjà acheté son logement et fait des travaux récemment, avoir des enfants en bas âge, ...), la contrainte financière liée à certains investissements

lourds et le fait d'avoir déjà un bilan carbone faible, à condition que celui-ci traduise des actions déjà réalisées ;

- **Les contraintes ressenties**, avancées par les ménages dans leurs discours, qui sont pour certaines à relativiser. Ce sont notamment des arguments de confort et de mode de vie, pour lesquels le discours incitatif doit montrer l'impact positif indirect de certaines solutions (plus de lien social, plus de temps pour soi, une alimentation plus saine, *etc.*) ou au contraire être transparent sur les efforts « nets » qui seront nécessaires.

Quels groupes sociaux et quels moments de vie propices ?

Notre travail incite à élargir la description du profil d'un individu, d'abord en insérant cet individu dans son contexte familial (en couple, avec ou sans enfants à domicile), ensuite en étendant le critère de l'âge à celui de la position dans le cycle de vie. **En fonction de différents temps et moments clés de la vie, les possibilités d'actions sont alors à différencier :**

- **lors de la mise en ménage et l'arrivée d'enfants**, avec la possibilité de passer à des comportements écologiques et économiques, de modérer sa consommation domestique, et peut-être d'éviter de prendre de mauvaises habitudes ;
- **lors de l'accession à la propriété**, avec évidemment des leviers forts à actionner sur le logement qui auront aussi un impact important sur d'autres postes (proximité des transports en commun *etc.*) ;
- **lors du départ des enfants du domicile et du départ à la retraite**, avec une possibilité de réfléchir à nouveau sur le logement (se rapprocher du centre-ville), mais aussi une réflexion sur le transport aérien et ses alternatives. Globalement cette période de la vie est marquée par le desserrement de « contraintes » majeures (emprunt, enfant, travail), et donc par la possibilité réelle de réorganiser sa vie en profondeur.

Quels sont les vrais leviers et les fausses bonnes solutions ?

De manière très concrète notre travail a offert à un échantillon de ménages un éventail de 65 solutions très opérationnelles pour réduire leur empreinte carbone. Il est possible de distinguer en première analyse des actions plus ou moins faciles à mettre en œuvre, il y a :

- **des « boutons à pousser »**, pour lesquels l'acceptabilité des ménages semble très forte : utiliser moins sa voiture au quotidien, manger moins de viande, adopter des gestes d'économies d'énergie ; ces opportunités

peuvent cependant être réduites si l'offre n'est pas disponible par exemple ;

- **des « blocages à lever »**, c'est-à-dire des solutions ayant une bonne acceptabilité mais pour lesquelles un verrou, financier ou autre, semble limiter l'adoption : le remplacement ou l'amélioration du système de chauffage et l'isolation (manque d'information), verrou financier, le passage à une alimentation moins consommatrice en énergie (améliorer l'image prix de ces produits) sont dans ce cas ;
- **les « fausses bonnes solutions »**, ayant une bonne acceptabilité mais étant compliquées à mettre en œuvre pour de maigres résultats en termes de carbone : productions locales hors alimentaires en raison de l'insuffisance de l'offre (cosmétiques, meubles, vêtements par exemple), renoncement à la viande rouge (fort attachement culturel)
- **les « domaines de conquête »** qui seront indubitablement à actionner si l'on souhaite atteindre des réductions conséquentes, mais pour lesquels des blocages importants existent. On pense surtout aux actions sur l'avion, pour lequel le marqueur social est très fort et la sensibilisation au caractère énergivore ne fait que commencer.

Quels registres de discours et arguments pour convaincre ?

Notre travail a permis de mettre en évidence des **registres de discours** à mettre en œuvre, qui sont d'ailleurs variables selon les groupes sociaux :

- **manier l'argument de l'urgence ou de la peur avec précaution** : ce qui paraît difficile à accepter individuellement le serait « évidemment » en cas d'urgence collective, si le changement climatique devenait un enjeu mondial. Du fait du décalage temporel entre émissions et réchauffement, il faut convaincre d'agir aujourd'hui sans pourtant faire peur ;
- **légitimer l'action individuelle par une reconnaissance publique** : « Si tout le monde le fait », « si les pouvoirs publics nous appuient... » sont des arguments souvent soulevés. Ainsi l'engagement de la société paraît nécessaire à l'engagement individuel, ce peut-être grâce à des leviers classiques (incitations, appui technique des collectivités...) ou à une incitation plus symbolique (exemple du bonus-malus). La mise en avant d'une contribution au bien-être collectif (renforcement du lien social, de la convivialité) apportée par un mode de vie plus écologique permet également de valoriser l'action individuelle ;

- **mettre en évidence des impacts personnels**, en termes de bien-être (santé, plaisir, confort, qualité de vie) ou une certaine morale individuelle (anti-gaspillage, retour au bon sens d'une consommation maîtrisée) car cela correspond à des valeurs anciennes ou à leur réinterprétation par les nouvelles générations.

Cette recherche permet aussi de faire des recommandations pratiques :

- **ne pas braquer en annonçant des renoncements qui font peur**, ceux-ci peuvent venir petit à petit, au terme d'une évolution, dans laquelle l'idée de libre choix doit dominer ;
- **ne pas parler que du logement**, alimentation, transports et consommation doivent être plus présents dans les campagnes et les outils de politiques publiques ;
- **essayer de mobiliser autant que possible des arguments de plaisir** en traduisant les arguments environnementaux dans d'autres registres ou en montrant les conséquences au quotidien (alimentation plus saine, vie plus conviviale) ;
- **désamorcer le discours de disculpation par report de responsabilité sur les pouvoirs publics** en montrant l'interdépendance des leviers collectifs et individuels. En l'espèce un discours de type uniquement « consommation durable » (c'est à dire « Vous êtes responsables ! »), est quasiment contre-productif, car il génère des situations de déni ou de rejet. À l'inverse, l'exemple du tri-sélectif, pour lequel les efforts demandés aux individus ont été accompagnés d'un travail de fond de la collectivité, montre bien cette interdépendance entre individuel et collectif.

Quelles possibilités d'accompagnement des ménages ?

Les entretiens ont exploré l'attitude des ménages face à une perspective de réduction de leurs émissions à laquelle ils seraient confrontés. Les choix et les attitudes qui y sont exprimées laissent entrevoir des réactions potentielles face aux outils de régulation ou politiques qui pourraient être mis en place. Toutefois, on doit rappeler que le cœur des entretiens visait à faire exprimer des préférences vis-à-vis d'actions et de changements de comportements, et non à tester des outils. Une analyse des principaux travaux de recherche et expérimentations sur les outils nous a permis néanmoins de proposer des perspectives d'accompagnement à approfondir tant en termes d'outils réglementaires (permis individuels négociables, cartes carbone) qu'en termes d'outils « volontaires » de type calculateurs et coaching carbone.

Conclusion et perspectives

À travers ce projet, nous avons donc montré qu'il était possible **d'introduire une approche de consommation dans les politiques climatiques et qu'elle présentait plusieurs intérêts** :

- celui de réintroduire le ménage et le citoyen comme acteur (ou cible) des politiques climatiques ;
- celui de montrer que les individus ne sont pas que des *homo economicus* mais agissent aussi en fonction de ressorts psychoculturels parfois plus forts que leur rationalité économique ;
- sur le plan des politiques ce projet rappelle que tout ne se passe pas dans un monde idéal de marché dans lequel les ajustements seraient automatiques. Les marchés carbone pourraient avoir des effets pervers, à la fois en termes économiques (l'aviation pourrait racheter une part importante des permis et exclure de fait certaines industries de base de l'accès au mécanisme) et sociaux (inégalités et impact sur les populations les plus vulnérables par le biais des prix). Il est important de comprendre et d'anticiper ces effets, et de rappeler qu'il existe d'autres modes de régulation du changement climatique, qui peuvent être parfois plus efficaces, acceptables et lisibles que des marchés carbone au fonctionnement tellement complexe que l'on en perd parfois les objectifs de vue.

Au-delà, ce projet ouvre de nouvelles perspectives de recherche et champs d'application : répliquabilité du protocole et test sur de nouvelles cibles ou à grande échelle, agrégation des visions micro-économiques dans une vision macro-économique, implémentation d'outils réglementaires ou incitatifs à destination des ménages et articulation avec la politique macro-économique..

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques

Dubois G., Ceron J.-P. Consommation et modes de vie : une autre perspective sur les politiques d'atténuation du changement climatique. AIR [en ligne] < <http://www.air-climat.org/category/publications/> >, consulté le 25 avril 2013.

Participation à des colloques nationaux ou internationaux

Ceron J.-P., Dubois G., 2010. Consommation et politiques d'atténuation. In : *Séminaire interne*, 21 janvier 2010, Nogent-sur-Marne, CIRED.

Dubois G., Ceron J.-P., 2010. Consommation et politiques d'atténuation. Attrait et limites. In : *Séminaire d'économie de l'environnement et du développement durable*, 7 décembre 2010, Paris, Iddri, chaire Développement durable Ecole polytechnique, Edf.

Dubois G., Cauchy A., 2012. Les budgets carbone individuels, de la théorie à la pratique. In : *Séminaire de restitution finale du projet*. 12 septembre 2012, Nogent-sur-Marne, CIRED. TEC [en ligne] < http://www.tec-conseil.com/gicc_budgetcarbone.htm >, consulté le 25 avril 2013.

Dubois G. Modes de vie, carbone et climat : comprendre les arbitrages pour mieux accompagner le changement de comportements. In : *Réunion du club « Villes, Territoires et Changement Climatique »*, 26 mars 2013, CDC Climat.

Communications dans les médias

Interview à l'Environnement Magazine et autres publications de Victoires Editions

Interview à Le Journal de l'Environnement, Valeurs Vertes...

Article dans Actu Environnement.

LES NÉGOCIATIONS INTERNATIONALES DU POST 2012, UNE LECTURE JURIDIQUE DES ENJEUX FONDAMENTAUX

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 1^{er} octobre 2009

Montant du budget : 227 000 € TTC dont 107 710 € TTC du MEDDE

Coordinateurs

Sandrine Maljean-Dubois, Directeur de recherche au CNRS

Directrice du CERIC

Espace René Cassin

3, avenue Robert Schuman

13 628 Aix-en-Provence cedex 1

Email : maljean.dubois@gmail.com

Matthieu Wemaere

Institut du développement durable et des relations internationales

27, rue Saint-Guillaume

75 337 Paris Cedex 07 – France

Email : matthieu.wemaere@gmail.com

Mots-clés : changements climatiques, négociations internationales, relations internationales, droit international, protocole de Kyoto, convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, forêts, commerce international, Organisation Mondiale du Commerce, Union européenne

Objectifs des recherches

Notre équipe a fait l'hypothèse qu'une lecture juridique des enjeux fondamentaux de ces négociations permettrait utilement d'éclairer la compréhension des blocages et de contribuer à la réflexion sur une issue positive.

La restitution de notre recherche est organisée en cinq chapitres correspondant à cinq enjeux fondamentaux dont l'analyse a fait l'objet des différentes parties du rapport :

- négociations et structuration juridique d'un nouvel accord ;
- la portée du principe des responsabilités communes mais différenciées dans les négociations du post-2012 ;
- les approches sectorielles ;
- la contrainte (et les flexibilités) du droit de l'Organisation Mondiale du Commerce dans la conception d'un nouveau régime ;
- le contrôle de la mise en œuvre et la sanction du non-respect dans le nouveau régime : évolution ou adaptation de l'« observance » ?

Présentation des travaux

Chacun de ces enjeux pouvant faire l'objet d'un traitement relativement distinct, cinq groupes de travail ont été constitués et ont travaillé sous la direction d'un responsable.

L'analyse conduite a été principalement juridique (recherches bibliographiques, entretiens, observation in situ des négociations), mais en tant que de besoin, les membres de l'équipe ont collaboré avec des chercheurs d'autres disciplines, notamment de la science politique et de la science économique. Ainsi, l'équipe a organisé différentes manifestations pluridisciplinaires :

- un séminaire à Aix-en-Provence sur « *Comment impliquer davantage les entreprises dans les politiques climatiques ? Entre autorégulation et corégulation* » associant juristes et économistes, praticiens et chercheurs et enseignants chercheurs (mai 2010)
- un séminaire à l'école Sciences Politiques de Paris en partenariat avec l'Université de Genève sur « *Le Mécanisme d'inclusion carbone (MIC) à la lumière des règles de l'Organisation mondiale du commerce* » associant juristes et économistes, et croisant là encore le regard du praticien avec celui du chercheur ou enseignant-chercheur (octobre 2010).
- un séminaire de travail, cette fois interne à l'équipe, avec Amy Dahan-Dalmedico, Directrice de recherche au CNRS, spécialiste des négociations internationales sous l'angle de la sociologie des sciences (Aix-en-Provence, CERIC, octobre 2010).

Le colloque de restitution s'est déroulé durant deux journées à Paris (Sciences Po Paris) les 26 et 27 janvier 2012.

Architecture juridique du régime international du climat post 2012

Le régime international du climat se construit par étapes. La convention elle-même, qui compte aujourd'hui 194 Parties¹ ne contient que des obligations très générales. En tant que Convention *cadre*, elle a été complétée en 1997 par le Protocole de Kyoto, instrument venant préciser les engagements de réduction des gaz à effet de serre qui compte aujourd'hui 193 Parties mais ne contient d'engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre que pour une première période se terminant en 2012, laissant la suite entièrement à construire. La forme et le contenu des engagements pour une deuxième période d'engagement restaient donc à définir.

Les négociations du « post-2012 », en réalité ouvertes dès 2005, lors de la première Réunion des Parties au Protocole², ont été officiellement lancées lors de la Conférence de Bali (2007), qui a abouti, à l'issue de négociations difficiles, à une « feuille de route », dont le « plan d'action de Bali » constituait l'élément central³. Il prévoyait l'adoption d'un accord global lors de la conférence de Copenhague en décembre 2009 définissant une « *vision commune de l'action concertée à long terme, notamment à un objectif global à long terme de réduction des émissions, pour atteindre l'objectif ultime de la Convention, conformément aux dispositions de cet instrument et aux principes qui y sont énoncés, en particulier le principe des responsabilités communes mais différenciées et des capacités respectives, et compte-tenu des conditions sociales et économiques et des autres facteurs pertinents* »⁴. Le Plan d'action précisait encore qu'il devait notamment être tenu compte des « *différences existant dans la situation de chaque pays* » dans la définition des engagements d'atténuation⁵.

S'il impulsait un nouvel élan aux négociations, destinées à aboutir deux ans plus tard lors de la conférence de Copenhague, cette « feuille de route » était vague et peu ambitieuse. Fruits d'un compromis délicat, les négociations restaient très ouvertes que ce soit sur la forme (le Plan d'action évoque simplement la nécessité de parvenir d'un « *commun accord à un résultat* ») ou sur le fond (aucun objectif chiffré de réduction, que ce soit à moyen ou à long terme n'était précisé) et aboutirent à un résultat relativement décevant sur le fond et sur la forme.

1 – Voir < http://unfccc.int/essential_background/convention/status_of_ratification/items/2631.php > consulté le 23 avril 2013

2 – Conformément à l'article 3§9 du Protocole.

3 – Voir la Décision 1/CP.13, in Décisions adoptées par la Conférence des Parties, FCCC/CP/2007/6/Add.1, 14 mars 2008, p. 3.

4 – §1 a),.

5 – § 1b) i). Voir aussi le v).

Sur la forme, on notera que le « *résumé* » de la Conférence n'est pas le « *agreed outcome* » recherché depuis Bali, mais un ensemble de décisions de la Conférence des Parties (à la Convention) et de la Réunion des Parties (au Protocole), la première ayant simplement pris note de l'« *Accord de Copenhague* »⁶. La procédure d'adoption de l'Accord, et même au-delà et plus largement les négociations de Copenhague, ont été tout sauf équitables. Marginalisation des petits États par des négociations *off*, exclusion de la société civile, nombreuses maladresses de la présidence danoise... Alors que le résultat était âprement négocié depuis de nombreuses semaines en *in* dans les deux groupes de travail spéciaux (AWG-LCA et AWG-KP), que la COP-MOP était réunie, l'Accord a été négocié en *off* par cinq pays, accepté par une vingtaine, puis soumis quelque peu cavalièrement à la COP-MOP pour adoption, ce qui a suscité l'indignation légitime de nombreux États. La Conférence des Parties a refusé de l'endosser en l'absence d'un consensus pour cela, certains États (Tuvalu, le Soudan, les pays de l'Alliance bolivarienne) mettant en avant à la fois le caractère inéquitable du processus (restreint, non démocratique, non transparent) et du résultat (pas suffisamment ambitieux, le Soudan parlant d'un génocide organisé de l'Afrique). L'Accord de Copenhague est donc un accord politique, non juridiquement obligatoire, resté en outre un temps « en dehors » du champ conventionnel, même si lui-même, prenait « note » des « *résultats des travaux effectués par les deux groupes de travail spéciaux* » fonctionnant l'un dans le cadre de la Convention-cadre (« AWG-LCA »), l'autre (« AWG-KP ») dans le cadre du Protocole, groupes de travail dont le mandat a été prolongé une première fois jusqu'à la réunion de Cancún en novembre-décembre 2010.

Après Copenhague, la Conférence de Cancún a, en 2010, donné un nouvel élan au régime climat⁷. Sur le plan formel, cette réunion a donc marqué une étape en permettant la « *conventionnalisation* » des éléments principaux de l'Accord de Copenhague, lesquels figurent désormais dans une décision de la Conférence des Parties adoptée par consensus⁸. Mais sur le fond les objectifs en matière de réduction d'émissions et d'atténuation présentés par les États membres après Cancún ne suffiront pas à atteindre l'objectif à long terme de la Convention. Les groupes de travail (« AWG-LCA » et « AWG-KP ») ont vu à nouveau leur mandat prolongé jusqu'à la conférence de Durban en novembre-décembre 2011, puis lors de la Conférence de Durban, jusqu'à celle de Doha qui a eu lieu fin 2012. Le « *agreed outcome* » recherché depuis Bali n'a finalement été adopté qu'à Doha. Lors de la Conférence de Durban, le principe de

la continuation du Protocole de Kyoto pour une seconde période d'engagement a été décidé, mais les détails opérationnels (durée, application provisoire en attendant l'entrée en vigueur du Protocole révisé, niveau d'ambition des engagements de réduction des émissions) n'ont été fixés qu'à Doha. Enfin, des négociations ont été lancées pour un futur accord qui devrait entrer en vigueur en 2020 au plus tard et regrouper l'ensemble des gros émetteurs ; un nouveau forum de négociation va être mis en place à cet effet. La forme juridique (obligatoire ou incitatif) et le contenu de ce nouvel accord (approche *bottom up pledges and review* ou *top down command and control*), ainsi que le niveau d'ambition qu'il marquera, sont encore largement incertains.

Sur le fond, les décisions adoptées lors de la Conférence de Durban mettent en lumière une situation d'urgence et soulignent la nécessité d'accroître singulièrement le niveau d'ambition des promesses de réduction des émissions de gaz à effet de serre afin d'atteindre l'objectif de limiter l'augmentation de la température globale à 2°C. Le principe d'une **continuation du Protocole de Kyoto** pour une deuxième période d'engagement est acté, même si toutes les questions délicates que soulève cette continuation n'ont pas été réglées. De nouvelles négociations sont lancées en faveur d'un **accord plus global, associant l'ensemble des émetteurs, à l'horizon 2020**. La forme juridique – sera-t-il obligatoire ou purement incitatif pour les États ? – de ce nouvel accord reste à déterminer, tout comme son contenu – jusqu'où s'inspirera-t-il du Protocole de Kyoto ou bien de l'approche *pledges and review* beaucoup plus souple que reflètent l'Accord de Copenhague et les Accords de Cancun ?

Principe des responsabilités communes mais différenciées

Le **principe des responsabilités communes mais différenciées** a joué un rôle majeur dans les négociations du post-2012 et va demeurer structurant dans les négociations du post-2020. La Convention-cadre de 1992 et le Protocole de Kyoto de 1997 ont représenté un compromis sur ce qu'impliquait alors concrètement le principe en termes d'engagements des pays développés et en développement. La montée en puissance des pays émergents a conduit à la remise en cause de ce compromis initial. Or, jusqu'à présent, le point d'équilibre entre les prétentions contradictoires des États n'a pas été retrouvé. Paradoxalement, le principe des responsabilités communes mais différenciées qui a permis de trouver un accord sur un régime international du climat dans les années 90, a contribué au grippage des négociations du post-2012. De ce point de vue, force est de constater que la **plateforme de Durban** pour les négociations du post-2020 ne se réfère plus au principe, ce qui laisse entrevoir un assouplissement des lignes.

6 – Voir la Décision 1/CP.15 < <http://unfccc.int/2860.php> > consulté le 24 novembre 2010.

7 – RAJAMANI, op. cit. note 117, p.519.

8 – Voir la Décision 1/CP.16, < <http://unfccc.int/2860.php> > consulté le 10 février 2011.

Approches sectorielles

Dans ce contexte très évolutif, le modèle classique de l'action publique visant principalement à contraindre les acteurs économiques à prendre des mesures pour contribuer à la réalisation d'un objectif chiffré de réduction des émissions nationales (approche « par les normes ») révèle ses limites. Les **entreprises** doivent être impliquées et s'impliquer elles-mêmes davantage dans la lutte contre le changement climatique : d'abord pour contribuer effectivement à la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre à la hauteur des enjeux et en fonction de leur responsabilités et capacités respectives ; ensuite parce qu'elles sont les acteurs de leur propre transformation vers des modes de production durable qui s'intégreront à l'avenir dans des économies faiblement carbonées, et ce dans un contexte mondialisé de plus en plus concurrentiel. Responsabilité sociale de l'entreprise (RSE), normalisation et certification, compensation volontaire et finance carbone, accords volontaires, approches sectorielles à l'échelle internationale : l'implication des entreprises se concrétise par le recours à une grande diversité d'outils. De ce point de vue, certains outils, comme les **approches sectorielles**, sont vraiment innovants au regard du droit international classique. Elles cachent elles-mêmes une grande variété d'instruments.

Climat et droit du commerce international

La question de l'**articulation voire de la complémentarité entre le droit du commerce international et le droit international des changements climatiques** se pose avec une grande acuité. Le principe d'un **soutien mutuel**, fondé sur la nécessaire cohérence entre les instruments juridiques internationaux, est envisagé comme un principe fondamental qui doit lui-même être articulé avec les principes de développement durable, d'évaluation des risques, du traitement différencié et de non-discrimination. L'établissement de « passerelles » normatives, telle la **normalisation technique**, est envisagé. Il s'avère toutefois impérieux de mener un travail de définition sur les conditions de fabrication des normes internationales, encore très peu encadrées.

Contrôle de la mise en œuvre et sanction du non-respect

La question du **contrôle de la mise en œuvre et des sanctions pour non-respect** soulève également d'importants enjeux. Le mécanisme élaboré et relativement intrusif de l'observance, mis en place dans le cadre du Protocole de Kyoto, devrait être poursuivi durant la deuxième période d'engagement. Mais il ne concerne plus potentiellement que 35 Parties – dont l'Union Européenne. Pour l'ensemble des 195 Parties, en attendant l'entrée en vigueur du

futur accord, un mécanisme de contrôle plus souple, basé sur le Measurement, Reporting and Verification (MRV), est en cours d'élaboration et expérimentation. De nombreuses inconnues demeurent et il est difficile d'affirmer s'il permettra réellement de garantir la transparence et la comparabilité des engagements des Parties. Quant au post-2020, il serait souhaitable que le nouvel accord fasse fond sur les « acquis » du **Protocole de Kyoto**.

Acquis en termes de transfert

La dimension juridique est particulièrement déterminante dans les négociations du « post-2012 ». Elle était pourtant très peu abordée jusqu'alors dans les travaux académiques, en particulier francophones. Le projet apporte aux décideurs un éclairage précieux sur cinq questions juridiques déterminantes dans le cadre des nouvelles négociations en cours dans le cadre de la Plateforme de Durban.

Innovante à ce niveau, la collaboration entre un laboratoire de recherche, le CERIC, dont la qualité des travaux en droit international de l'environnement est largement reconnue en France comme à l'étranger, et un *think tank* tel que l'IDDRI, dont plusieurs membres sont impliqués à un titre ou un autre dans les négociations, a garanti à la fois la pertinence des questions de recherche et la réalité du transfert des résultats aux « décideurs ».

Cette collaboration, qui a connu plusieurs temps forts lors des séminaires organisés et notamment lors du séminaire final de restitution à Paris, auquel ont participé plusieurs négociateurs français, a ouvert les voies d'une recherche-action particulièrement dynamique et fructueuse.

Liste des principales valorisations des recherches

Organisation de conférences et colloques

Séminaire CERIC-Iddri. *Comment impliquer davantage les entreprises dans les politiques climatiques ? Entre autorégulation et corégulation*, 3-4 mai 2010, Aix-en-Provence, Université Aix-Marseille.

Conférence-débat de Lavanya Rajamani, Professeur au Centre for Policy Research à New Delhi *The Making and Unmaking of the Copenhagen Accord*, 9 juillet 2010, Aix-en-Provence, Université Aix-Marseille.

Conférence-débat *Le Mécanisme d'inclusion carbone (MIC) à la lumière des règles de l'Organisation mondiale du commerce*, 7 octobre 2010, Paris, Sciences Po.

Conférence-débat de Amy Dahan-Dalmedico, Directrice de recherche CNRS *Les arènes climatiques et la gouvernance internationale*, 21 octobre 2010, Aix-en-Provence, Université Aix-Marseille.

Colloque de restitution *Les enjeux des négociations du futur régime international du climat*, 26-27 janvier 2012, Paris, Sciences Po.

Publications

Boisson de Chazournes L., 2010. La protection du climat en droit international – Eléments d'un régime juridique en émergence. *Revue Suisse de droit international et européen*, 3, 339-360.

Boisson de Chazournes L., 2010. La protection internationale du climat – état des lieux et enjeux. In : *Droit de l'environnement dans la pratique*, Association pour le droit de l'environnement, Zurich, 8, 795-809.

Boisson de Chazournes L., 2011. Features and Trends in International Environmental Law. In: *The Transformation of International Environmental Law*, (Kerbrat Y., Maljean-Dubois S., eds.), Pedone & Hart, Paris et Londres, 9-20.

Boisson de Charzournes L., Mbengue M., 2011. A Footnote as a Principle. Mutual Supportiveness in an Era of Fragmentation. In: *Coexistence, Cooperation and Solidarity* (Holger P. Hestermeyer et al., eds.), *Liber Amicorum Rüdiger Wolfrum*, vol. II, Springer, 1615-1638.

Kerbrat Y., Maljean-Dubois S., 2010. In : *Colloque : « Le droit international face aux enjeux environnementaux »*, 4-6 juin 2009, Aix-en-Provence, Société française pour le droit international, Pedone, Paris, 489 p.

Kerbrat Y., Maljean-Dubois S., 2011. *The transformation of international environmental law*, Hart Publishing, Pedone, Paris, 304 p.

Lanfranchi M.-P., 2010. Le statut des pays en développement dans le régime climat : le principe de la dualité des normes revisité ?. In : *Colloque de la Société française pour le droit international, Le droit international face aux enjeux environnementaux*, 4-6 juin 2009, Aix-en-Provence, 277-295, Pedone, Paris.

Maljean-Dubois S., 2010. An Outlook for the Non-Compliance Mechanism of the Kyoto Protocol on Climate Change. *Amsterdam Law Forum*, n°2/2010, 77-80, [en ligne]: <http://ojs.uvu.nl/alf/article/view/133/255>.

Maljean-Dubois S., 2010. L'« observance » du Protocole de Kyoto sur les changements climatiques : les enjeux du contrôle international du respect des engagements. In : *Changement climatique et pollution de l'air. Droits de propriété, économie et environnement*, (M. Falque, H. Lamotte, eds.), Bruylant, 221-230.

Maljean-Dubois S., Rajamani L., 2011. La mise en œuvre du droit international de l'environnement / Implementation of International Environmental Law, (écriture de la préface et du rapport introductif en collaboration avec Lavanya Rajamani (bilingue, anglais et français)), *Académie de droit international de La Haye*, Martinus Nijhoff Publisher, 812 p.

Maljean-Dubois S., Roger A., 2011. L'implication des entreprises dans les politiques climatiques. Entre corégulation et autorégulation, *la Documentation française*, Paris, 212 p.

Maljean-Dubois S., Tabau A.S., 2010. Non-compliance Mechanisms: Interaction between the Kyoto Protocol System and the European Union. *European Journal of International Law*, 21, 749-763.

Maljean-Dubois S., Tabau A.S., 2011. From the Kyoto Protocol Compliance System to MRVs: What is at Stake for the European Union? In: *A Compliance System for the Post-2012 Climate Change Regime* (J. Brunnée, M. Doelle, L. Rajamani, eds.), Cambridge University Press, 317-338.

Maljean-Dubois S., Wemaere M., 2010. L'Accord de Copenhague : quelles perspectives pour le régime international du climat ?. *Revue du droit de l'Union Européenne*, 1/2010, 5-40.

Maljean-Dubois S., Wemaere M., 2010. *La diplomatie climatique : les enjeux des négociations internationales* (Prix Claude Berthault, Académie des sciences morales et politiques, Institut de France), Pedone, Paris, 378 p.

Sindico F., 2009. Climate and Trade in a Divided World: Can Measures Adopted in the North End Up Shaping Climate Legislative Frameworks in the South? In: *Climate Law And Developing Countries, Legal and Policy Challenges for the World Economy* (Y. Le Bouthillier, H. McLeod-Kilmurray, B. Richardson, S. Wood, eds.), Cheltenham, Edward Elgar, 361-385.

Sindico F., 2010. The Copenhagen Accord and the future of the international climate change regime, *Revista Catalana de Dret Ambiental*, [en ligne] 1-24, <<http://www.rcda.cat/index.php/rcda/article/viewFile/35/138>> (consulté le 31 mai 2013).

Sindico F., 2011. Post 2012 Compliance and Carbon Markets. In: *A Compliance System for the Post-2012 Climate Change Regime* (J. Brunnée, M. Doelle, L. Rajamani, eds.), Cambridge University Press, 240-261.

Sindico F., 2011. Why comply when others are not bound? Emissions Trading, Carbon Leakage and Trade Measures. In: *The Implementation of Environmental Law*, (L. Rajamani, S. Maljean-Dubois, eds.), The Hague Academy of International Law, La Hague- Pays-Bas, 209-250.

Tabau A.-S., 2010. Les perspectives ouvertes par le contrôle du respect des engagements en matière climatique. *In : Le droit international face aux enjeux environnementaux* (Kerbrat Y., Maljean-Dubois S., Mehdi R., eds), Société française pour le droit international (SFDI), Pedone, Paris, 297-316.

Tabau A.-S., 2011. L'observance du Protocole de Kyoto : nouvelle figure de l'expertise. *In: La relation juge-expert dans les contentieux sanitaires et environnementaux* (E. Truillhé- Marengo, eds.), La Documentation française, Paris, 177-198.

Tabau A.-S., 2011. Certainties, Omens and Grey areas of the European Union Emissions Trading Scheme (EU-ETS) after 2012. *In: Companies on Climate Change* (Fabregoule C., Cygler, eds.), Warsaw School of Economics publishing, Vasovie, Pologne, 85-99.

Tabau A.-S., 2011. New Perspectives from the Climate Regime for Compliance Control in Environmental Matters. *In: The Transformation of International Environmental Law* (Y. Kerbrat., S. Maljean-Dubois, eds.), Oxford-Paris, Pedone-Hart, 305-320.

Tabau A.-S., 2011. Prospects offered by the compliance control system of the climate change regime. *In: International Law and Environmental Challenges* (S. Maljean-Dubois and Y. Kerbrat, eds.), French Society of International Law, Pedone/Hart, 303-318.

Tabau A.-S., 2011. *La mise en oeuvre du Protocole de Kyoto en Europe, interactions des contrôles international et communautaire*, Bruylant, Bruxelles, 519 p.

Wemaere M., 2009. Post-2012 Climate Change Agreement: Why MRV is important. *Idées pour le débat*, Iddri, 7.

Wemaere M., 2010. Current Developments. *Carbon&Climate Law*, CCLR, 10 p. (collab. Leonardo Massai, Megan Ceronsky).

Wyatt J., 2009. Trade and the environment: The WTO's efforts to balance economic and sustainable development. *In : Economie, Environnement Éthique, de la responsabilité sociale et sociétale*, (R.T. Trindade, P. Henry, C. Bovet, eds.), *Liber Amicorum* Anne Petitpierre-Sauvain, Zurich/Bâle/Genève, Schulthess, 225-235. (collab. G. Marceau).

IMPACTS, VULNÉRABILITÉ, ADAPTATION : DES MILIEUX NATURELS AUX SOCIÉTÉS

ADAPTFVR - IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉMERGENCE DES VECTEURS DE LA FIÈVRE DE LA VALLÉE DU RIFT AU SÉNÉGAL : ADAPTATION ET STRATÉGIE POUR UNE MEILLEURE GESTION DU PASTORALISME AU SAHEL

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 18 février 2010

Montant du budget : 329 476 € TTC dont 172 520 € TTC de subvention du service de la recherche du Ministère en charge du développement durable

Cofinancements obtenus : CNES 50 000 €.

Coordinateur

Murielle Lafaye

CNES, Centre National d'Etudes Spatiales

18, Avenue Edouard Belin

31 401 Toulouse Cedex 9

Partenaires

Centre de Suivi Ecologique (CSE) de Dakar, chargé de la coordination des activités au Sénégal, responsable des activités liées à l'environnement

Direction des services vétérinaires (DSV) du Ministère de l'élevage du Sénégal, responsable des activités liées à l'adaptation, utilisateur des bulletins ZPOM

Institut Pasteur de Dakar (IPD), responsable des activités liées à l'entomologie et à la validation des bulletins ZPOM,

Météo France, responsable des activités liées à la climatologie

Association REFLETS, responsable du site d'information RedGems

Mots-clés : changement climatique, climat, adaptation, stratégie, pastoralisme, maladies infectieuses à vecteurs, fièvre de la vallée du Rift, Sénégal, Sahel, régionalisation, incertitude

Objectifs des recherches

La **Fièvre de la vallée du Rift (FVR)**, sujet de l'étude proposée, est devenue aujourd'hui l'une des plus préoccupantes parmi la quarantaine d'arboviroses émergentes ou ré-émergentes. Elle est considérée comme un problème de santé publique majeur ayant un impact socio-économique très important dans les régions où elle sévit. Elle touche principalement les animaux mais peut également toucher l'homme.

Le projet *AdaptFVR* applique l'approche conceptuelle de télé-épidémiologie reliant climat, environnement et santé, à la maladie d'intérêt, la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR), dans la région sahélienne du Ferlo au Sénégal. Il s'agit d'étudier l'impact de la variabilité du climat sur le schéma épidémiologique de la **Fièvre de la vallée du Rift** et d'en analyser les conséquences sur les prévisions du risque vectoriel. L'objectif était triple :

- produire et valider des cartes dynamiques des risques d'exposition du bétail aux piqûres des moustiques, vecteurs de la **Fièvre de la vallée du Rift** ;
- étudier l'impact de la variabilité du climat (du saisonnier jusqu'aux basses fréquences, comprenant les tendances et les changements climatiques) sur la prévision du risque vectoriel ;
- étudier les processus d'adaptation dans la gestion du pastoralisme, principalement la santé animale, face aux risques prédicts.

Présentation des travaux

Introduction

L'émergence de la **Fièvre de la vallée du Rift** correspond à la conjonction dans le temps et dans l'espace de trois phénomènes 1) la prolifération des vecteurs (moustiques *Aedes vexans* et *Culex poicilipes*) dépendantes de conditions climatiques, principalement la pluviométrie et environnementales 2) la circulation du virus 3) la rencontre des vecteurs infectés et du bétail (hôte).

Le Centre national d'études spatiales (CNES) a développé un concept qui repose sur une approche déterministe des relations climat-environnement-santé et sur une offre spatiale originale et réellement adaptée (CNES, 2008). L'approche conceptuelle est basée sur l'étude des mécanismes favorisant l'apparition et la propagation de maladies infectieuses à vecteurs en reliant plusieurs disciplines telles que : les sciences de l'environnement, du climat, l'entomologie, l'ornithologie, la microbiologie, la télédétection...

Matériels et méthodes

L'approche utilisée repose sur trois étapes, décrites ci-après.

Etape 1 : appréhender et comprendre les mécanismes d'émergence et de propagation des vecteurs

Cette première étape consiste à établir expérimentalement les mécanismes qui relient les paramètres physiques, biologiques et socio-économiques associées à l'émergence des vecteurs. L'objectif est d'identifier les conditions favorables au développement de la maladie et de mieux comprendre les mécanismes de transmission et de prolifération. Cette étape passe par une phase d'observation et une phase de diagnostic.

Phase d'observation : la campagne de mesures effectuée en 2010 dans la région du Ferlo au Sénégal (figure 1) a permis de recueillir des données multidisciplinaires in-situ (entomologie des vecteurs responsables de la maladie, relations hôtes-vecteurs, virologie, données environnementales y compris des données météorologiques).

Phase de diagnostic : elle a pour but d'extraire et d'identifier les principaux mécanismes en jeu et les paramètres environnementaux et climatiques observables par satellite favorisant l'émergence et la dispersion des vecteurs.

Etape 2 : production de produits spatiaux adaptés

Cette étape doit s'appliquer à répondre aux critères spécifiques d'une maladie définis lors de l'étape de compréhension des processus régissant cette maladie. Elle a donc pour objectif de créer et/ou d'utiliser des produits spatiaux réellement adaptés. Les images satellites apportent des informations qui ne concernent pas directement les virus responsables de la maladie, mais leur environnement (données géographiques, météorologiques, hydrologiques,...) et notamment les lieux favorisant leur développement et leur prolifération. Cette étape consiste à identifier quels types de données satellitaires répondent le mieux aux besoins (résolution spatio-temporelle, spectrale) puis de créer les produits d'information adaptés. Dans le cas de la **Fièvre de la vallée du Rift** les produits satellitaires concernent principalement la détection des mares temporaires et de leurs caractéristiques impliquées dans l'émergence des moustiques (couverture en végétation et turbidité des mares). La dynamique spatio-temporelle des mares nécessite des données satellitaires de pluviométrie et des séries d'images haute résolution SPOT et TerraSARX. La détection de l'emplacement des parcs à animaux nécessite également l'utilisation d'imagerie métrique. Les produits élaborés sont validés sur le terrain par les utilisateurs.

Objectif 1 : produire et valider des cartes dynamiques des risques d'exposition du bétail aux piqûres des moustiques, vecteurs de la Fièvre de la vallée du Rift.

Pour atteindre cet objectif, nous sommes passés par deux étapes, la première pour appréhender et comprendre les mécanismes d'émergence des vecteurs et la seconde pour concevoir des produits spatiaux et élaborer des modèles prédictifs.

Etape 1 : appréhender et comprendre les mécanismes d'émergence des vecteurs

Entomologie

Un total de 12 714 femelles a été recueilli par l'Institut Pasteur de Dakar. Les vecteurs impliqués dans la transmission du virus de la Fièvre de la vallée du Rift représentent 82% du total collecté, avec une prédominance des *Aedes vexans* (58%) et des *Culex poicilipes* (13%). Plus on s'éloigne des mares, plus la densité moyenne des moustiques diminue. Après l'émergence massive des *Aedes vexans* qui a suivi la mise en eau des mares en juillet, la densité totale des moustiques diminue en août. On mesure ensuite un second pic en septembre, avant un déclin progressif jusqu'à la fin de la saison des pluies. La densité de *Culex poicilipes* a augmenté régulièrement à partir de juillet pour atteindre un pic en septembre suivi d'une décroissance régulière jusqu'à la fin de la saison des pluies (figure 3).

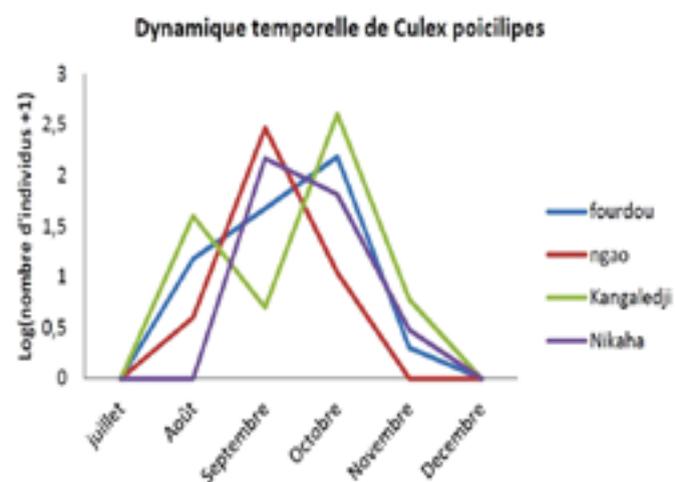


Figure 3. Dynamique temporelle de la densité des *Culex poicilipes* au niveau de 4 mares en 2010

Virologie

Durant la campagne 2010, la Direction des services vétérinaires a collecté 1 129 échantillons de sérum, dont 127 sérums de bovins et 1 002 sérums de petits ruminants. Certains marqueurs sanguins permettent d'avoir des informations concernant une circulation ancienne du virus, et la naïveté des troupeaux vis-à-vis de la maladie : les IgG.

Les marqueurs sanguins, IgG représentatifs d'une circulation ancienne du virus, et les IgM représentatifs d'une contamination récente ont été analysés par l'Institut Pasteur de Dakar. Tous ces tests se sont révélés négatifs indiquant qu'il n'y a pas eu de circulation ancienne ou récente du virus de la Fièvre de la vallée du Rift dans cette région en 2010.

Environnement

- **Météorologie** : la pluviométrie dans la région est plutôt normale, avec un début tardif (fin juin au lieu de début juin), le maximum des pluies est intervenu en août, et le cumul pluviométrique saisonnier est compris entre 400 mm (Niakha) et 450 mm (Barkedji).
- **Hydrologie** : le suivi limnimétrique de plusieurs mares montre que leur dynamique est liée à la distribution des événements pluviométriques. Il faut noter une mise en eau tardive des mares (figure 4).



Figure 4. Mise en eau de la mare de Niakha après la pluie de 24,6 mm (photo prise le 12/07/2010). La mise en eau est encore partielle en ce début de saison des pluies 2010 ; on peut voir que l'argile gonflante qui se trouve au fond de la mare est toujours craquelée, ce qui témoigne encore de l'insuffisance de l'humidité en début de saison des pluies.

- Enquêtes pastorales : Thomas Manga, chef de service vétérinaire de Barkedji, pense que la transhumance peut être considérée comme précoce au regard des autres années, avec une légère augmentation des flux de petits ruminants et de bovins. En revanche, le flux des dromadaires, en provenance de Mauritanie, est en nette augmentation depuis plusieurs années.

Téledétection

Le projet *AdaptFVR* a bénéficié des acquis des études précédentes dont la mise au point d'indices dédiés à la détection des mares et de la caractérisation de leur couvert végétal, ainsi que l'utilisation de données satellites TRMM pour connaître la quantité de pluie moyenne tombée (une donnée essentielle pour la dynamique des mares et la production des moustiques). Les images acquises ont permis d'actualiser la carte de localisation des mares, et, grâce à la très haute résolution, d'y localiser les parcs qui accueillent les troupeaux et de construire la carte d'occupation du sol (figure 2). Ces informations sont des entrées déterminantes du modèle bio-mathématique ZPOM.

Etape 2 : production de cartes adaptées et élaboration de modèles prédictifs

L'approche conceptuelle de télé-épidémiologie du Cnes (CNES, 2008 ; Tourre *et al.*, 2009 ; Vignolles, 2010) appliquée à la Fièvre de la Vallée du Rift dans la région du Ferlo au Sénégal au cours de la saison 2003 a permis de produire des cartes dynamiques de risque d'exposition du bétail aux vecteurs de la FVR en associant comme facteurs déclenchant les événements pluvieux, la densité des vecteurs (*Aedes vexans* et *Culex poicilipes*) et la présence des hôtes que représentent le bétail (Tourre *et al.*, 2009 ; Vignolles *et al.*, 2009). Une carte de risque est en fait le résultat du croisement entre la carte d'aléas (densité de moustiques) et la carte de vulnérabilité (carte des campements et parcs à bestiaux). La carte d'aléas est calculée en tenant compte 1) de la distribution des événements de pluie (fréquence et intensité) qui conditionnent la mise en eau et la dynamique des mares (gîtes larvaires) ainsi que l'éclosion des œufs des moustiques 2) de la distance de vol des moustiques 3) de leur agressivité (nombre de moustiques qui piquent) (Tourre *et al.*, 2008 ; Ndione *et al.*, 2009). Cette dernière est aussi appelée carte des Zones Potentiellement Occupées par les Moustiques (ZPOM).

La méthodologie appliquée en 2003 a posteriori, a été utilisée cette fois dans le but de produire ces cartes d'aléas en temps quasi-réel pendant toute la saison des pluies 2010 dans la région de Barkédji au Sénégal (Vignolles *et al.*, 2010 ; Tourre *et al.*, 2010). Durant la saison 2010, 8 bulletins ont été produits et diffusés aux partenaires du projet.

La compréhension des mécanismes impliqués dans l'émergence des deux espèces de moustiques vecteurs de la Fièvre de la vallée du Rift a permis d'améliorer le modèle de production des *Aedes vexans*, et de développer le modèle de production des *Culex poicilipes*. Les sorties de ces modèles ont pu être validées grâce aux données collectées lors des campagnes entomologiques et environnementales de terrain.

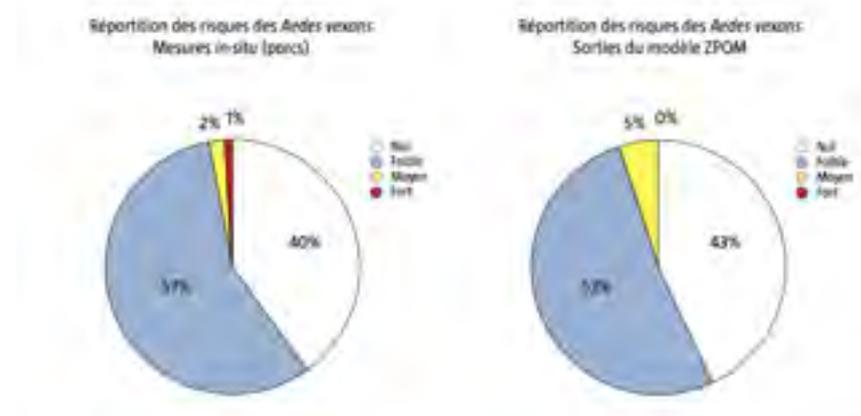


Figure 5. Comparaison du niveau de risque des *Aedes vexans* entre mesures *in-situ* et sorties du modèle ZPOM (mare de Niakha)

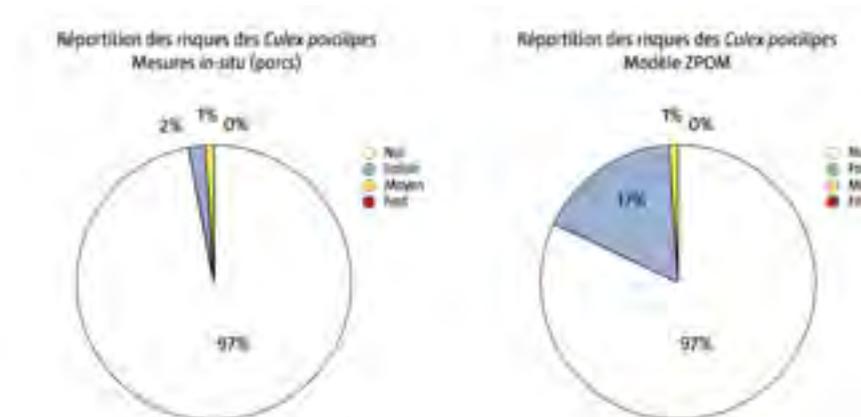


Figure 6. Comparaison du niveau de risque des *Culex poicilipes* entre mesures *in-situ* et sorties du modèle ZPOM (mare de Niakha)

La comparaison entre le risque vectoriel mesuré et simulé dans les 181 parcs enquêtés entre le 15 juillet et le 30 octobre 2010 montre que :

- les densités d'*Aedes vexans* classés en 4 classes nulle, faible, moyenne et forte, sont à 97% dans le risque nul à faible, aussi bien pour les densités mesurées (40% nul + 57% faible) que simulées (43% nul + 52% faible) (figure 5) ;
- les densités de *Culex poicilipes* sont encore plus faibles que celles d'*Aedes* avec un risque pratiquement nul (99%) aussi bien pour les mesures in-situ (97% nul + 2% faible) que pour les sorties de modèle (82% nul + 17% faible) (figure 6).

Objectif 2 : étudier l'impact de la variabilité du climat (du saisonnier jusqu'aux basses fréquences, comprenant les tendances et le changement climatique) sur la prévision du risque vectoriel.

La dynamique des pluies au Sahel est fonction d'au moins 4 échelles de temps : l'échelle saisonnière, l'échelle interannuelle, l'échelle dites basses fréquences (quasi-décennale à multi décennale) et la composante anthropique du changement climatique.

Les points principaux qu'il faut retenir de cette étude sont les suivants :

- La **prévision saisonnière** probabiliste (sous forme de quantiles) à grande échelle présente des limites pour être utilisée aux échelles spatio-temporelles plus fines du projet *AdaptFVR*. Des progrès sur la désagrégation spatiale et sur les prévisions sub-saisonnières sont en cours de développement. Cependant ces informations statistiques qui sont disponibles aujourd'hui et qui sont mises à jour tous les mois (voir produits EUROSIP) doivent permettre aux systèmes sanitaires de proposer une stratégie d'adaptation anticipative (en amont) face au risque potentiel d'apparition des épidémies liées en partie, au climat du Ferlo.
- Les **prévisions interannuelles** à basse fréquences, basées sur des corrélations statistiques entre la température de surface de l'océan et la densité de vecteurs *Aedes*, est prometteuse puisque notre étude sur la période 1960-2010, montre des phasages positifs entre les deux séries chronologiques. Une adaptation à moyen terme devient donc possible : c'est à dire des anomalies positives ou négatives de la température de surface de l'océan sur des périodes de 10-15 ans sont associées respectivement à une augmentation ou à une réduction de la production d'*Aedes* au début de la saison des pluies au Ferlo. Les modifications d'adaptations anticipatives à moyen terme, à partir d'indices climatiques en temps réel de types QDO (Quasi Decenal Oscillation) et AMO

(Atlantic Multi-decenal Oscillation) semblent plus difficiles à mettre en œuvre puisque, 1) les deux signaux interagissent (se modulent) entre eux, et 2) le changement définitif du phasage de l'AMO demande au moins 6 mois de mesures pour être vérifié. Par exemple pour la période 2011-2012 les phases négatives sont très faibles et un retour à des phases positives pourrait être envisagé avec des pluies au moins normales sur le Ferlo.

- L'adaptation au **changement climatique** du 21^{ème} siècle à partir des premiers résultats de CORDEX-Afrique (scénarios RCP 8.5 et 4.5 W/m²), semblerait minime tout au moins en ce qui concerne le climat au Sénégal. Très peu de changements sont à prévoir au niveau des quantités de précipitations sur le Ferlo. En effet aucune variation significative de la température sur le Ferlo n'est à signaler, alors que la tendance (détectée statistiquement) d'une variation de -10 mm de précipitation à Barkédji sur les 50 ans à venir est non seulement très faible, avec peu d'incidence sur la dynamique des mares, mais se trouve surtout dans la limite des incertitudes des modèles numériques.

La conclusion générale est que la prévision saisonnière doit être améliorée sur des échelles plus fines (projet TIGGE en cours du THORPEX Interactive Grand Global Ensemble, avec des prévisions de 1 jour à deux semaines. <http://tigge.ecmwf.int/>). Ceci devrait permettre d'améliorer les modèles de dynamique des mares. La variabilité basses fréquences du climat Atlantique est très prometteuse pour des adaptations de systèmes d'information sanitaires sur des périodes décennales. Enfin peu de changement est à prévoir pendant la première moitié du 21^{ème} siècle sur les précipitations cumulées dans la région de Barkédji. La dynamique des mares et la production des vecteurs de la Fièvre de la vallée du Rift ne devraient donc pas changer notablement dans les prochaines décennies.

Dans ces conditions, le facteur d'influence majeur serait anthropique, à savoir la pression de l'utilisation des sols pour l'agriculture au détriment de l'élevage, plutôt que climatique.

Objectif 3 : étudier les processus d'adaptation dans la gestion du pastoralisme (santé animale principalement) face aux risques prédits.

Le GIEC (2001) définit l'adaptation en ces termes « Réaction des systèmes naturels ou anthropiques aux stimuli climatiques réels ou prévus ou à leurs effets, en vue d'en atténuer les inconvénients ou d'en exploiter les avantages ». Le GIEC (2001) identifie plusieurs sortes d'adaptation, notamment l'*adaptation anticipative*, l'*adaptation autonome*, l'*adaptation prévue*, l'*adaptation de caractère privé*, l'*adaptation de caractère*

public, l'adaptation réactionnelle. Le signal changement climatique en l'état actuel des connaissances n'est pas bien défini et quantifié au Sahel. Pour cette étude *AdaptFVR*, nous faisons le choix de présenter des actions verticales et transversales dans le cadre de l'adaptation anticipative (adaptation qui a lieu avant que les effets des changements climatiques ne soient observables. On parle aussi d'adaptation proactive). Au Sénégal, la Fièvre de la vallée du Rift figure sur la liste des maladies prioritaires surveillées par la Direction des services vétérinaires dans le cadre du Système national de surveillance épidémiologique des maladies (SNSE) et elle fait l'objet d'une double surveillance, à savoir active et passive. La problématique de l'adaptation est importante à plus d'un titre dans la mesure où avec la décentralisation, la santé tout comme l'environnement font partie des compétences transférées aux collectivités locales.

Le dispositif d'adaptation, proposé dans le cadre du projet *AdaptFVR*, va s'articuler autour de mesures anticipatives, liées certes à la prévention mais aussi aux cas de flambées épidémiques qui pourraient potentiellement survenir. Les acteurs de l'adaptation anticipative sont entre autres : la Direction des services vétérinaires, le niveau central et les services régionaux et départementaux, le Poste vétérinaire de Barkédji, la Communauté Rurale et l'Unité Pastorale de Barkédji. Pour mémoire, l'Unité Pastorale dispose d'un Comité de gestion qui a ses propres canaux de vulgarisation à travers différents sous-comités villageois mais aussi une radio rurale où des émissions destinées aux pasteurs existent déjà. Ces dernières seront mises à contribution pour une diffusion la plus large possible des mesures d'adaptation préconisées par les acteurs locaux en se basant sur les cartes de risque mises au point dans le cadre du projet *AdaptFVR*.

1) Production et dissémination du Bulletin *AdaptFVR* de prévision de l'émergence des *Aedes* et des *Culex*

Tout au long de la saison des pluies 2010, les bulletins de prévision du risque des *Aedes vexans* et des *Culex poicilipes* ont été produits toutes les deux semaines et diffusés à l'ensemble des partenaires. En tout, 8 bulletins ont été produits et diffusés. De fait, les principales mesures d'adaptation s'appuieront sur les sorties spatio-temporelles de la modélisation ZPOM (Zones Potentiellement Occupées par les Moustiques) du risque vectoriel (*Aedes* et *Culex*). Ces sorties sont présentées dans les Bulletins *AdaptFVR* produits en temps réel lors de la période expérimentale 2010. Il est indispensable de transférer la production des bulletins aux organismes de recherche et aux utilisateurs sénégalais.

2) Utilisation du bulletin *AdaptFVR* à travers des actions ciblées

Les trois principales actions de lutte focalisée contre la maladie qui se dégagent du projet *AdaptFVR* sont les suivantes :

- éloigner les troupeaux des zones à risque

À partir des cartes de risque vectoriel produites tous les quinze jours, il sera donné des avis-conseils aux éleveurs de s'installer en dehors des zones à risque. Grâce à des panneaux qui seront confectionnés en langue locale (peul) et installés autour des mares, la Direction des services vétérinaires va indiquer aux éleveurs où s'installer. Les informations contenues dans le Bulletin, vont permettre d'optimiser l'implantation des parcs à bestiaux en fonction de la prévision du niveau de risque *Culex* ou *Aedes* et d'éviter ou de diminuer ainsi le contact hôte-vecteurs réduisant de ce fait le risque de transmission,

- organiser la lutte anti-larvaire

Elle se fera de manière ciblée sur la base des bulletins de prévision d'émergence de moustiques fournis pour la saison des pluies. En 2010 (figures 7 et 8), sur les 1354 mares détectées dans la zone de Barkédji (45 × 45 km) représentant une surface maximum de 1702 ha, seules 457 mares sont, en raison de leur taux de couverture en végétation supérieur à 50%, potentiellement productrices de *Culex*. Ces « mares à *Culex* » représentent une surface maximum de 373 ha. L'évolution dynamique de la surface et du nombre de « mares à *Culex* » à traiter est montrée sur la figure 7. En moyenne, la surface à traiter est de 68,2 ha correspondant à 115 « mares à *Culex* ». Ces informations donnent une idée de la surface globale à traiter, et donc de la quantité de produit anti-larvaire et du coût économique que représenterait un traitement préventif. L'Institut Pasteur de Dakar étudie actuellement la faisabilité et le coût de la lutte anti-larvaire dans la zone de Barkédji.

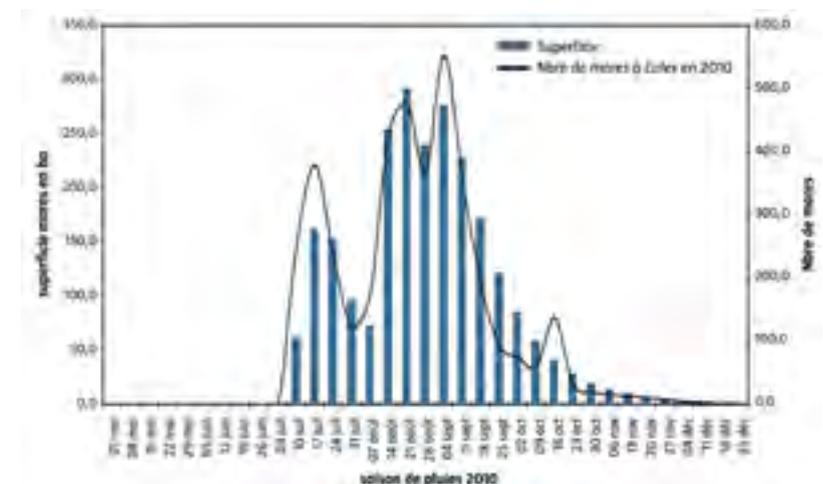


Figure 7. Evolution des superficies et du nombre à mares *Culex* durant la saison des pluies 2010 sur la base des sorties du modèle ZPOM.

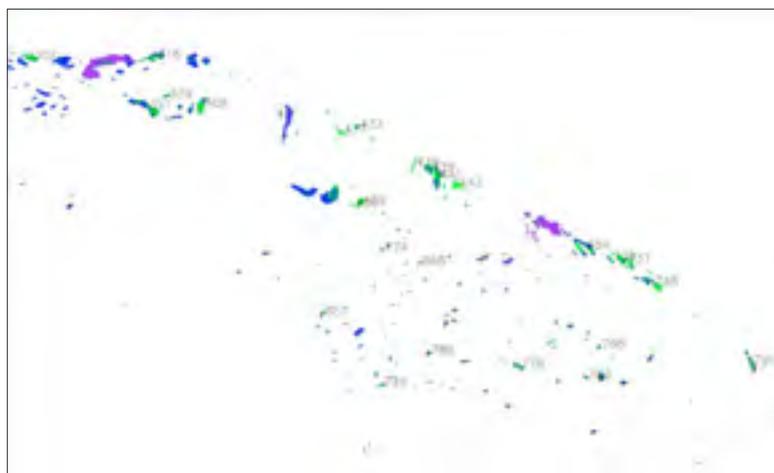


Figure 8. Carte prévisionnelle des mares à traiter (larvicide) autour de Barkédji à partir des sorties du modèle ZPOM de la zone de 45×45 km (en bleu, ce sont les mares en eau libre ; en vert, il s'agit de la végétation aquatique, et le violet correspond aux mares turbides ; les numéros indiquent les mares dont la superficie est supérieure à 1 ha)

- organiser au besoin la vaccination

Les cartes de prévision du niveau de risque vectoriel peuvent également être utilisées pour optimiser la stratégie de vaccination de la Direction des services vétérinaires. En effet, en disposant des informations sur la base des périodes à haut risque identifiées, comme par exemple les pluies tardives de fin de saison humide, il est possible de cibler les zones pour les campagnes de vaccination.

3) Mise en œuvre de la stratégie d'adaptation par des actions de communication nationales et locales

Pour que les mesures d'adaptation issues des bulletins ZPOM soient pleinement efficaces au niveau local, il s'agira aussi de prendre en compte une donnée importante et fondamentale pour la réussite des mesures d'adaptation : l'appropriation des produits élaborés par les communautés au niveau local. Une communication efficace exige que les produits soient accessibles certes, mais surtout qu'ils soient compréhensibles, ce qui va exiger qu'ils soient traduits en langue locale, notamment en peul et wolof. Cela peut être largement envisagé dans la mesure où des campagnes d'alphabétisation ont fait leur preuve et qu'elles constituent au Ferlo un élément facilitateur qui pourrait être mis à contribution en vue de la réussite de l'après-projet. Il reviendra à la Direction

des services vétérinaires de montrer la valeur ajoutée des bulletins de prévision élaborés dans le cadre du projet *AdaptFVR* pour faciliter leur appropriation. Il est prévu d'informer la population par des messages en langues locales sur les radios communautaires. Une première forme concrète de communication a été réalisée grâce à des panneaux interdisant l'implantation des parcs à animaux à moins de 500 m des mares ; ils ont déjà été mis en place. La communication se fait également au niveau national, auprès du Ministère de l'élevage dont dépend la Direction des services vétérinaires puisque pendant la durée du projet, la Direction des services vétérinaires, qui participe à un groupe de travail de l'Assemblée Nationale du Sénégal, a présenté le projet *AdaptFVR* ainsi que les bulletins de prévision.

Discussion - conclusions

S'appuyant sur des connaissances multi-disciplinaires acquises grâce à une coopération Nord-Sud fructueuse ces 10 dernières années, le projet *AdaptFVR* a tenu ses objectifs et a concrètement débouché sur des mesures d'adaptation. Le modèle bio-mathématique ZPOM fournissant des cartes de prévision du risque vectoriel a été optimisé pour les *Aedes* et a été complété d'un module de prévision pour les *Culex*. La comparaison de sorties du modèle avec les mesures entomologiques de terrain montrent une bonne adéquation. Les bulletins prévisionnels du risque vectoriel fournis sur un rythme de production quasi-opérationnel ont été validés et utilisés sur le terrain par les utilisateurs. Ces bulletins ZPOM, qui intègrent des données issues des observations satellites, entrent dans la stratégie d'adaptation élaborée par la Direction des services vétérinaires du Ministère de l'élevage du Sénégal, en concertation avec les acteurs de terrain. Déjà, des premières mesures d'adaptation ont été mises en œuvre. D'autres mesures, comme l'organisation de la lutte anti-larvaire, font l'objet d'études pour mieux connaître les moyens et les coûts nécessaires à leur mise en œuvre. Enfin, le transfert du CNES au CSE du modèle prévisionnel de carte de risque d'émergence des moustiques vecteurs de la FVR est en cours de formalisation.

Ce transfert, réalisé vers un organisme sénégalais dont les compétences sont reconnues internationalement, devrait avoir un impact régional sur la prévision des risques vectoriels de la Fièvre de la Vallée du Rift.

Actuellement, d'autres études utilisant la même approche de télé-épidémiologie sont en cours pour le paludisme en milieu urbain et rural dans le cadre du projet PaluClim soutenu par le GICC, et pour la dengue.

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques publiés

Cissé A., Bah A., Drogoul A., Cissé A.-T., Ndione J.-A., Kébé C.-M.-F., 2012. Un modèle à base d'agents sur la transmission et la diffusion de la fièvre de la vallée du Rift à Barkédji (Ferlo, Sénégal). *Studia Informatica Universalis*, 10 (1), 77-97.

Lafaye M., Vignolles C., Haynes J., Estes S., 2012. CNES strategy, satellite data and modeling for public health: towards a cooperation with NASA, *GeoCarto, NASA Earth Observation Program for Public Health Special issue*, December 2012.

Caminade C., Ndione J.-A., Jones A., Kébé C.-M.-F., Danuor S., Tay S., Tourre Y.-M., Lacaux J.-P., Duchemin J.-B., Jeanne I., Morse A.P., 2011. Mapping Rift Valley fever and malaria risk over West Africa using climatic indicators. *Atmospheric Sciences Letter*, 12, 96-103.

Lafaye M., Vignolles C., 2011. Au Sénégal, le satellite protège les troupeaux. *CNES Mag*, 50, 8.

Vignolles C., Tourre Y.-M., Mora O., Imanache L., Lafaye M., 2010. TerraSAR-X high-resolution radar remote sensing : an operational warning system for Rift Valley Fever risk. *Geospatial Health* 5(1), 22-31.

Articles scientifiques soumis

Dia I., Ndione J.-A., By Y., By D., Bocoum O., Diallo M., *soumis*. Mosquito species diversity and abundance in relation to land use/land cover in the Sahelian area of Senegal. *Acta Tropica*.

Participation à des colloques nationaux ou internationaux

Tourre Y.-M., 2012. Remote sensing in a changing Climate and Environment: the Rift Valley Fever Case. *In: ISPRS 2012*, 25 août-01 septembre, Melbourne, Australia.

Ndione J.-A., 2011. Climate, Environment and Health: Recent Achievements in Senegal, 96-97, *In: Climate and Health in Africa: '10 Years On' Workshop*, (Omumbo J.-A., Platzer B., Girma A., Connor S.J., eds.), Addis Ababa, Ethiopia, *IRI Technical Report 1101*, International Research Institute for Climate and Society, Palisades, NY, 114 p.

Lafaye M., 2011. CNES satellite data and modeling for public health. *In: ISPRS 2011*, 12-13 septembre 2011, Santa Fe (USA).

Vignolles C., 2011. A conceptual approach of tele-epidemiology applied to Rift Valley Fever in Senegal. *In: ISPRS 2011*, 12-13 septembre 2011, Santa Fe (USA).

Lafaye M., 2011. CNES strategy, satellite data and modeling for public health. *In: NASA Public Health Program review*, 13-16 septembre 2011, Santa Fe (USA).

Lafaye M., 2011. La Télé-épidémiologie, une aide à la santé dans un contexte de changement climatique *In : Journée de la Société Française de Météorologie*, « Le changement climatique dans tous ses états », 23 mars 2011, Paris.

Vignolles C., 2010. Tele-epidemiology: which contribution for Earth Observation satellite data ? *In: Toulouse Space Show 2010*, session « Environnement-Climat-Santé », 8-11 juin 2010, Toulouse.

Tourre Y.-M., Lacaux J.-P., Vignolles C., Ndione J.-A., Lafaye M., 2010. Rift Valley Fever (RVF) risks in Senegal using high-resolution remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVIII (8) 343-348.

Bop M., Sambou S., Kébé C.-M.-F., Ndione J.-A., 2010. Modélisation du fonctionnement hydrologique d'un bassin endoréique pour une application à l'étude de la fièvre de la vallée du Rift (FVR). *In: Proceedings of the Sixth World FRIEND Conference "Global change: facing risks and threats to water resources"* October 2010, Fez, Morocco, IAHS Publ. 340, 305-313.

Bulletins de prévision pour les acteurs de terrain

Bulletin n°1 : 7 juillet 2010

Bulletin n°2 : 10 juillet 2010

Bulletin n°3 : 15 juillet 2010

Bulletin n°4 : 2 août 2010

Bulletin n°5 : 16 août 2010

Bulletin n°6&7 : 16 septembre 2010

Bulletin n°8 : 1er octobre 2010

Présentations hors colloques

Lafaye M., 2011. CNES satellite data and modeling for public health, 15 novembre 2011, Ministère de la Santé, Paris.

Lafaye M., 2011. CNES strategy, satellite data and modeling for public health, 25 octobre 2011, Institut Pasteur de Madagascar.

Ndione J.-A., 2011. Télé-épidémiologie et Fièvre de la Vallée du Rift : études au Sénégal, 12 mars 2011, Centre de Compétences Techniques Applications.

Lafaye M., 2010. Satellites et santé, 4 novembre 2010, Ministère de la Santé, Direction Générale de la Santé, Paris.

Habilitation à Diriger la Recherche

Ndione J.-A., 2012. Approche intégrée du complexe environnement-climat-maladies vectorielles au Sénégal : synthèse de travaux sur la Fièvre de la Vallée du Rift, la dengue et le paludisme, Université de Bourgogne, Centre de Recherche de climatologie, Dijon, 151 p..

Rapports de fin d'étude

Guilloteau C., 2012. Apport des outils spatiaux au suivi de la Fièvre de la Vallée du Rift : estimation et prévision des densités de vecteurs. Projet de fin d'étude, ENSEEIHT électronique et traitement du signal, option traitement du signal et des images, Toulouse, 55 p.

Alcoba M., 2011. Apport des outils spatiaux au suivi de la Fièvre de la Vallée du Rift. Rapport de Master 2 Géosciences spécialité Télédétection, IPGP - Université Paris Diderot, Paris, 5 p.

Imanache L., 2010. Fièvre de la Vallée du Rift : mise en place d'un système de prévention et d'alerte précoce. Rapport de Master 2 Professionnel Télédétection et Imagerie numérique, Université Paul Sabatier, 35 p.

Bibliographie

Lacaux J.-P., Tourre Y.M., Vignolles C., Ndione J.-A., Lafaye M., 2007. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: application to Rift Valley fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing Environment*, 106, 66-74.

CNES, 2008. Method for tele-epidemiology (Méthode pour la télé-épidémiologie). Patent delivered

Tourre Y.-M., Lacaux J.-P., Vignolles C., Ndione J.-A., Lafaye M., 2008. Mapping of zones potentially occupied by *Aedes vexans* and *Culex poicilipes* mosquitoes, the main vectors of Rift Valley Fever in Senegal. *Geospatial Health*, 3 (1), 69-79.

Ndione J.-A., Lacaux J.-P., Tourre Y.M., Vignolles C., Fontanaz D., Lafaye M., 2009. Water ponds and sanitary risk in the Ferlo area: Contribution of remote sensing in studying Rift Valley Fever between August 2003 and January 2004. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, [en ligne], 20 (1), 153-160, doi : 10.1684/sec.2009.0170, <http://www.jle.com/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs/00/04/49/D5/article.phtml> (consulté le 29 avril 2013).

Tourre Y.-M., Lacaux J.-P., Vignolles C., Lafaye M., 2009. Climate impacts on environmental risks evaluated from space: a conceptual approach to the case of Rift Valley Fever in Senegal. *Global health Action*, [en ligne], 2, doi : 10.3402/gha.v2i0.2053, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2799327/> (consulté le 29 avril 2013)

Vignolles C., Lacaux J-P, Tourre Y.-M., Bigeard G., Ndione J.-A., Lafaye M., 2009. Rift Valley Fever (RVF) in a Zone Potentially Occupied by *Aedes vexans* in Senegal: Dynamics, Mapping and Risks, *Geospatial Health*, 3(2), 210-220, <http://www.geospatialhealth.unina.it/main.php?idi=6>

Vignolles C., Tourre Y.-M., Mora O., Lafaye M., 2010. TerraSAR-X high-resolution radar remote sensing: an operational warning system for Rift Valley fever risk, *Geospatial Health*, 5(1), 23-31.

Tourre Y.-M., Lacaux J.-P., Vignolles C., Ndione J.-A., Lafaye M., 2010. Rift Valley Fever (RVF) risks in Senegal using high-resolution remote sensing, *In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume XXXVIII, Part 8, 9-12 august 2010, Kyoto, Japan.

SECALP - ADAPTATION DES TERRITOIRES ALPINS À LA RECRUESCENCE DES SÉCHERESSES DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT GLOBAL

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 19 novembre 2009

Montant du budget global : 707 817 € TTC dont 213 136 € TTC de subvention du MEDDE

Cofinancements obtenus : ANR VMCS « VALIDATE » (2008-12) 85 806 €

Coordinateur

Sandra LAVOREL

Directrice de Recherche, CNRS UMR 5553

Laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA)

Université Joseph Fourier

BP 53

38041 Grenoble Cedex 9

Email : sandra.lavorel@ujf-grenoble.fr

Partenaires

Jean-Christophe Clément – LECA CNRS-Université J. Fourier Grenoble

Benoît Courbaud, Georges Kunstler, Grégory Loucougaray, Thomas

Spiegelberger, François Véron – Irstea UR Ecosystèmes Montagnards (EM) :

Laurent Dobremez, Baptise Nettier – Irstea UR Développement des Territoires de Montagne (DTM)

Richard Bonet – Parc National des Ecrins

Mots-clés : écosystèmes alpins, réchauffement climatique, sécheresse, alpages, dynamique forestière, écotones, pratiques pastorales, adaptation des systèmes d'élevage, adaptation de la gestion forestière, observations à long terme.

Objectifs des recherches

L'objectif de SECALP était d'analyser les mécanismes d'adaptation des territoires semi-naturels de montagne face aux changements climatiques, particulièrement la récurrence des sécheresses. Les objectifs spécifiques étaient : 1) d'améliorer la compréhension des mécanismes de résilience et de transformation des écosystèmes, et des processus d'adaptation des acteurs agricoles et forestiers. 2) de proposer des orientations pour accompagner ces acteurs au travers des politiques publiques agri-environnementales et de développement territorial, et 3) de proposer des stratégies d'observation à long terme pouvant favoriser l'adaptation des acteurs.

Présentation des travaux

Introduction

Les rapports du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) ont pointé les écosystèmes de montagne comme hautement vulnérables aux changements climatiques planétaires. Les scénarios d'évolution du climat prévoient non seulement une poursuite du réchauffement observée sur les Alpes, mais aussi une augmentation des extrêmes climatiques, en particulier des phénomènes de sécheresse, en particulier dans les zones sous influence méditerranéenne. Les écosystèmes alpins sont considérés comme particulièrement sensibles à ces changements qui risquent d'entraîner des pertes de biodiversité et des modifications des paysages. Cependant les connaissances actuelles concernent principalement les effets des modifications du climat moyen, alors que les effets de la sécheresse commencent seulement à être pris en compte. Du point de vue des activités de production, si l'allongement de la période de végétation pourra permettre une utilisation plus flexible des alpages et pourrait conduire à une augmentation de la production forestière en zone de montagne, le risque de sécheresse estivale accru a un impact dépréciatif sur la production fourragère et sur les peuplements forestiers. L'influence de ces modifications sur les pratiques de gestion, les systèmes d'exploitation et leur durabilité écologique, économique et sociale est inconnue. Suite aux sécheresses de 2003 et 2005, l'ensemble des gestionnaires des espaces pastoraux des Alpes se mobilisent pour comprendre et anticiper les changements des systèmes pastoraux dans leurs composantes naturelles et humaines et leurs couplages. De même, les gestionnaires forestiers expriment une demande forte de connaissances en termes d'identification des risques, d'éléments les aidant à faire évoluer leurs pratiques sylvicoles, et de développement de réseaux d'observation.

Dans ce contexte nous nous sommes engagés à produire des connaissances

pour appuyer les acteurs, les gestionnaires et les décideurs des territoires alpins à : 1) la réduction des impacts et 2) l'adaptation à la récurrence des sécheresses, dans un contexte de changements du climat et de la conjoncture politique et socio-économique. Les recherches ont concerné la résilience et les capacités d'ajustement à ces changements des écosystèmes terrestres et des acteurs de leur gestion. Les interactions entre changements climatiques, écologiques et mutations des modes d'exploitation pastorale et forestière ont été au cœur du travail. La stratégie de recherche s'est appuyée sur la mise en place d'un dialogue structuré avec les acteurs de ces territoires (agriculteurs, forestiers, services pastoraux et les gestionnaires d'espaces naturels). Les résultats des analyses des impacts déjà observés et des mécanismes d'adaptation permettront de promouvoir le développement d'indicateurs et de stratégies d'observation pour la détection rapide des changements, et le soutien à l'adaptation des acteurs locaux afin de réduire l'impact des sécheresses et de promouvoir une gestion durable.

Matériels et méthodes

Les travaux de SECALP ont été mis en œuvre sur les deux sites de la Zone Atelier Alpes, le Vercors (Réserve Naturelle des Hauts Plateaux du Vercors et Parc Naturel Régional du Vercors) et l'Oisans (adret de Villar d'Arène, alpages sentinelles du Parc National des Ecrins), tous deux représentatifs des systèmes société-environnement des Alpes intermédiaires gérés à la fois pour les productions pastorale et forestière, et comme espaces naturels protégés à forte valeur patrimoniale. Les deux sites se situent sur des limites climatiques critiques où se mêlent les influences océaniques et méditerranéennes, la prédominance de ces dernières ayant augmenté au cours des deux dernières décennies.

L'analyse des données de sites d'étude à long terme sur la RNHPV (Réserve Biologique Intégrale du Vercors et dispositif de défens de Irstea) a permis de décrire les effets du climat sur la dynamique de la végétation. En complément de ces analyses d'observations, des manipulations expérimentales combinant sécheresse et réchauffement ont permis d'identifier les mécanismes démographiques et fonctionnels contrôlant les réponses des espèces de pelouses subalpines et des principales essences forestières. Complétées par l'analyse des données de mortalité forestière, elles ont également permis de faire la part entre effets de la recrudescence des épisodes de sécheresse et les effets soit d'autres facteurs climatiques, soit d'autres perturbations naturelles soit de la gestion.

Des enquêtes en exploitation et auprès de bergers ont permis de reconstituer le fonctionnement du système fourrager. Des entretiens semi-directifs ont permis de comprendre les raisons des pratiques et des changements de pratiques

et d'identifier les leviers activés face aux sécheresses récentes. L'analyse du fonctionnement du système fourrager a permis de caractériser la sensibilité à la sécheresse des exploitations et de la mettre en regard des leviers activés, ainsi que de comparer les exploitations et les territoires. Les stratégies d'adaptation mises en œuvre par les acteurs forestiers lors d'épisodes de sécheresse passées ont été analysées par une enquête auprès des acteurs forestiers du Vercors interrogeant les adaptations à la sécheresse que les acteurs ont pratiquées dans le passé (en particulier en 2003), les indices de changement climatique qu'ils ont repérés, les stratégies d'anticipation qu'ils sont prêts à mettre en place ?

La production et l'utilisation de scénarios de mutation du système couplé homme-environnement, en utilisant les connaissances fondamentales acquises sur le fonctionnement du système et en intégrant les réponses envisagées par les acteurs, ont été un outil majeur du projet. Nous avons co-construit avec un groupe d'experts locaux 4 scénarios couplant deux modalités climatiques et deux modalités socio-économiques. En complément des avis de ces experts, nous nous sommes appuyés sur : 1) nos résultats expérimentaux et des hypothèses d'experts sur les conséquences des modalités climatiques sur les milieux ; 2) des études prospectives nationales et internationales pour les modalités socio-économiques. Ces éléments ont ensuite été repris par les chercheurs pour produire des récits ensuite affinés et validés par les experts régionaux. Les 4 scénarios ont été présentés aux acteurs agricoles et forestiers, qui ont proposé des stratégies d'adaptation. Des propositions pour l'appui aux acteurs en vue d'une gestion durable des territoires alpins, et pour aménager les politiques agri-environnementales et territoriales ont alors été discutées avec le groupe d'experts.

Enfin, nous avons analysé les réseaux et des protocoles d'observation existants et constitué une base de données pour soutenir la construction d'un réseau d'observation à long terme des sécheresses et de leurs effets sur les écosystèmes de montagne.

Résultats et discussion

Peu de données sont disponibles pour évaluer les dynamiques écologiques à long terme. L'analyse des données disponibles pour les alpages et par les inventaires forestiers a suggéré une forte résilience aux sécheresses des 30 dernières années. On discerne cependant des réponses du recrutement forestier annonciatrices d'une érosion des limites inférieures d'espèces comme le hêtre et le sapin, et d'un déficit général de recrutement de l'épicéa sur les sols plus superficiels. Ces patrons sont confirmés par les approches expérimentales. Pour la forêt celles-ci ont montré que si la mortalité ne peut pas être directement

reliée aux sécheresses sur les stations productives, le recrutement est lui sensible à la compétition pour l'eau avec le tapis herbacé et la canopée, en particulier entre feuillus et semis de résineux. La forte résilience des alpages, dont la dynamique et le fonctionnement sont principalement pilotés par la gestion, résulte de mécanismes d'adaptation physiologique dans ces milieux naturellement variables. Cependant, dans le cas du Vercors une réponse transitoire marquée (éclaircissement du couvert, régression des espèces plus mésophiles) l'année de la sécheresse extrême reflète ce qui a été vécu par les éleveurs et les bergers. Les données d'observation comme les expérimentations ne permettent pas d'exclure des effets plus drastiques à long terme, y compris des effets de seuil et des processus de rétroaction via les sols.

Les enquêtes réalisées auprès des acteurs agricoles et forestiers pour analyser leurs capacités et mécanismes d'adaptation aux sécheresses récentes ont révélé que les conséquences des sécheresses sur les activités d'élevage et forestières sont par nature différentes en relation avec leurs échelles de temps de gestion et avec leur fonctionnement économique. Les adaptations adoptées par les acteurs de l'élevage restent toutefois limitées à une adaptation des pratiques pour jouer sur la flexibilité des systèmes avec peu de modification structurelle. Les préoccupations des éleveurs et des forestiers se rejoignent sur l'impact à moyen terme des sécheresses, et se focalisent sur les interactions entre recrudescence des épisodes de sécheresse et contexte socio-économique. Ils partagent également leurs incertitudes sur les dynamiques à long terme (possibilités d'effets de seuils) et sur les conséquences de leurs modifications de pratiques pour la durabilité de leurs ressources, qu'elles soient fourragères ou forestières. Enfin, l'accroissement des sécheresses est susceptible de décroiser les deux groupes d'acteurs, aussi bien par la demande de surfaces boisées « tampon » pour le pâturage, que pour la colonisation des alpages par le pin à crochet.

La construction participative de scénarios combinant modalités climatiques et socio-économiques a permis de mettre en évidence le rôle relatif de ces deux dimensions dans l'adaptation des acteurs. Conformément à ce qui a été observé concernant la perception et l'adaptation aux sécheresses récentes, la réalité du changement est plus prégnante pour les éleveurs que pour les forestiers, ne serait-ce qu'en relation avec les échelles de temps de leurs décisions et la détectabilité des effets des événements récents. De manière générale, les propositions d'adaptation sont en continuité avec les réponses récentes ou les anticipations qu'elles ont suscitées. Les éventuels changements plus radicaux mettent en jeu l'attitude face aux aléas et intègrent toujours d'autres facteurs, notamment relatifs à l'évolution du contexte socio-économique, bien que celui-ci reste une incertitude dont le poids est majeur, en particulier dans la position attentiste des acteurs forestiers. Enfin, même s'il reste un facteur

crucial d'incertitude, le contexte réglementaire sera décisif dans la capacité des acteurs à mettre en place des adaptations, comme le seront l'accompagnement technique et territorial.

La mise en place d'un système d'observation adapté aux contraintes des milieux de montagne apparaît non seulement comme un défi scientifique, mais aussi comme une demande des acteurs pour soutenir leurs adaptations. L'analyse des réseaux et protocoles existants souligne un foisonnement de réseaux, de dispositifs et de protocoles à de multiples échelles. Sur l'exemple du réseau Alpages Sentinelles, un tel observatoire devra assurer la coordination et la communication entre réseaux, et en particulier entre scientifiques et gestionnaires, et entre protocoles pour les paramètres à combiner sur le climat, les écosystèmes (biodiversité et valeur productive) et les pratiques. Le partage de cette démarche entre gestionnaires des espaces naturels, acteurs agricoles, forestiers, scientifiques, et acteurs territoriaux est essentiel pour sa mise en place et sa pérennité, ainsi que pour accompagner l'adaptation.

Conclusions - Perspectives

Les réponses des écosystèmes de montagne au changement climatique et en particulier aux sécheresses restent difficiles à appréhender. Toutefois, ces écosystèmes ont globalement une résilience importante aux événements de sécheresse, récente ou simulée expérimentalement. Pour autant, de premières réponses des processus de recrutement forestier sont perceptibles. Les effets à long terme, en particulier de successions d'années de sécheresse exceptionnelle, sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes alpins restent inconnus, en particulier via leurs interactions avec les sols. Notre analyse a souligné une cohérence importante entre réponses écologiques observables selon les échelles de temps, réponses d'adaptation récentes des acteurs, et anticipations sur la base de scénarios combinant sécheresse et contexte sociétal.

S'il existe un cloisonnement assez fort entre les acteurs agricoles et forestiers du Vercors, leurs préoccupations se rejoignent concernant les modalités, relativement linéaires, et les conditions générales socio-économiques et réglementaires de leur adaptation à moyen terme à la recrudescence des sécheresses. Ils partagent aussi des interrogations sur les effets écologiques à long terme, et de forts besoins d'appui technique. Sachant que le pâturage d'espace « tampons » boisés constitue un levier d'adaptation important, et qu'en alpage de nouvelles problématiques émergent autour de la place de l'arbre pour préserver la ressource pastorale, les deux groupes d'acteurs devront collaborer à l'avenir pour une gestion concertée des milieux et un partage des ressources. Ajouté à la nécessité probable de diversification des activités des ménages, y compris avec

le tourisme, ceci souligne l'importance que prendra une gestion et la prise de décisions à l'échelle territoriale. La mise en place d'un système d'observation adapté aux contraintes des milieux de montagne et aux besoins de leurs acteurs apparaît non seulement comme un défi scientifique, mais aussi comme une demande des acteurs pour soutenir leurs adaptations.

Acquis en termes de transfert

Adaptation des écosystèmes alpins aux changements climatiques, dont la sécheresse

Résilience de la biodiversité et de la valeur d'usage des formations herbacées

Les pratiques pastorales apparaissent comme un élément déterminant dans la résistance et la résilience des végétations d'alpage sur le moyen terme (25 ans) et du maintien de leur valeur pastorale. Certaines espèces caractéristiques des prairies plus fraîches peuvent constituer des indicateurs de la sensibilité de ces pelouses aux sécheresses et d'une perte potentielle de valeur pastorale.

Les approches expérimentales suggèrent que si les années de sécheresses verront des réductions de la quantité et de la qualité des fourrages, les réponses à moyen terme de la valeur d'usage seront donc plutôt déterminées par les adaptations des éleveurs et des bergers à la récurrence des sécheresses. L'enjeu majeur sur ces milieux est de pouvoir gérer la production l'année de la sécheresse. Maintenir un niveau raisonnable de pâturage peut-être positif pour la capacité de réponse de ces milieux. Un plan d'action pour les années de sécheresse pour compenser les pertes de fourrages sera probablement nécessaire.

Résilience des écotones forestiers

La dynamique spatiale de la régénération des essences forestières est difficile à appréhender. Un effort d'observation et de suivi particulier de la régénération est nécessaire pour améliorer notre capacité de prédiction de la réponse de la régénération au changement climatique. Nos premiers résultats suggèrent que la régénération des essences commerciales, en particulier épicéa et sapin, est peu dynamique à la fois à la limite inférieure et à la limite supérieure de leur étage, ce qui compromet l'avenir de leur production dans un contexte de changement climatique. Le Pin à crochet se régénère bien mais reste actuellement localisé dans des zones d'altitude difficiles d'accès et protégées (réserve intégrale) et n'est donc pas concerné par la production forestière. Le maintien des alpages peut par contre nécessiter de lutter dans certains cas contre son envahissement.

Phénomènes de mortalité en forêt

Les taux de mortalités accidentelles observés dans les forêts de production du Vercors sur le 20^e siècle ont été faibles en moyenne et ont été peu influencés par les évènements de sécheresse. Sur des forêts de Savoie et du Jura, on a montré que les sécheresses rendaient les forêts plus sensibles aux tempêtes survenant au cours des deux années suivantes. Dans le Vercors, où l'occurrence des tempêtes est limitée, cet effet ne s'exprime pas et on peut estimer que les forêts du Vercors sont peu vulnérables aux sécheresses sur les stations productives. Des successions de sécheresses sur plusieurs années n'ont cependant pas été observées durant le 20^e siècle et il n'est pas possible de prévoir aujourd'hui la réponse des forêts à ce type de scénario extrême. Le point faible des forêts du Vercors pourrait donc être plus lié à des difficultés de régénération résineuse en limites d'étages qu'à la mortalité des adultes. Une augmentation des prélèvements par crainte de dépérissements ne semble donc pas nécessaire. Les documents de gestion forestière (inventaires et sommiers) constituent des sources d'information très précieuses sur l'histoire des peuplements forestiers. Des améliorations au niveau du renseignement et de l'archivage de ces documents sont souhaitables.

Effets des déterminants climatiques sur le recrutement des espèces arborées

L'effet de la végétation au sol est déterminant pour la régénération dans les conditions plus chaudes mais il est contrôlé par la fermeture de la canopée. Pour la plupart des espèces, les conditions de régénération les meilleures sont donc dans de petites ouvertures ou sous un couvert léger. La facilitation indirecte de la canopée sur la régénération, via son effet de réduction de la végétation, augmente avec la température : la sylviculture doit donc veiller à limiter les ouvertures trop importantes de la canopée de manière plus nette en basse altitude. Au vu des difficultés de régénération des résineux (épicéa et sapin), dans le cadre d'une augmentation de température et de fréquence des événements de sécheresse il faut envisager sur le long terme soit une réduction de leur place dans la production, soit une augmentation des travaux les favorisant par rapport à la végétation herbacée et aux feuillus. De manière générale, ces implications du changement climatique pour le recrutement, et leurs conséquences pour l'adaptation au changement climatique sont probablement sous-estimées par les acteurs forestiers.

Processus d'adaptation des acteurs utilisateurs de l'espace

Processus d'adaptation des acteurs de l'élevage (éleveurs et bergers)

Les éleveurs et les bergers ont mis en place une série d'adaptations en réponse aux sécheresses des années 2000, dont les éléments clés sont les suivants :

Sur les exploitations : limiter les achats de foin pour l'alimentation hivernale (agrandissement, amélioration de la productivité des prairies, reports de stocks) ; au pâturage jouer sur la flexibilité du système (espaces tampons, pâturage de surfaces de fauche).

Sur les alpages : préserver la ressource pastorale en alpages (ajustement de la conduite du pâturage, des chargements, améliorations pastorales).

Les préconisations de gestion et la réalisation des aménagements devront préserver, voire renforcer la flexibilité dans la conduite, les équipements et aménagements pastoraux étant essentiels pour desserrer les contraintes, par ex. : sécurité d'approvisionnement en eau pour l'abreuvement du troupeau, implantation de cabanes, équipements de parcs et clôtures pour mieux prospecter certains secteurs et mieux utiliser la ressource pastorale. Les changements de conduite en alpage ne sont pas raisonnés indépendamment des modes de fonctionnement des exploitations qui les utilisent, à titre individuel ou sous forme collective. Les éventuelles préconisations de changements de pratiques doivent donc tenir compte de la place de la phase pastorale d'alpage dans le fonctionnement des exploitations utilisatrices.

Dans les situations les plus sensibles aux sécheresses, des suivis pluriannuels de la ressource pastorale mériteraient d'être mis en œuvre en s'appuyant sur des diagnostics pastoraux préalables, qui soient à la fois intégrés (objectifs pastoraux collectifs et individuels, enjeux environnementaux, enjeux liés au multi-usage) et partagés entre les différents acteurs (gestionnaires d'espaces protégés, éleveurs, bergers, collectivités locales,...).

Processus d'adaptation des acteurs forestiers

La faible mobilisation des acteurs forestiers par rapport au changement climatique est cohérente avec l'absence d'évènements de très forte mortalité qui donne une impression de résilience. Cependant, bien que les sécheresses n'aient pas eu un impact trop marqué sur les forêts du Vercors sur les dix dernières années, l'épisode climatique de 2003 doit être considéré comme un avertissement sérieux. La mise en route d'une réflexion collective sur la prise en compte du changement climatique dans la politique forestière locale, allant au-delà du principe de respect de l'équilibre écologique de la forêt avec son milieu, serait souhaitable. En outre, il serait essentiel d'identifier les étapes de la gestion forestière pour lesquelles les conséquences d'évènements exceptionnels de type sécheresse peuvent être anticipées : aménagements forestiers, surveillance de la forêt, programmation des coupes, martelage, procédures de crise.

Orientations et leviers à mobiliser pour une gestion durable des espaces naturels de montagne intégrant le changement climatique

Élevage : Le besoin des éleveurs n'est pas uniquement financier. Ils sont demandeurs de conseils techniques (effet de la fertilisation sur la quantité de foin produite en cas de sécheresse, irrigation, scénarisation économique y compris demande locale en produits, expérience de sécheresses par des éleveurs d'autres zones d'études...). Les adaptations de l'élevage demanderont l'accompagnement du développement des transformations fermières et des circuits courts : maintien des abattoirs locaux, création de salles de découpe collective et de magasins de vente...

Les éleveurs seraient prêts à s'engager dans des Mesures Agri-Environnementales (MAE) exigeantes au plan environnemental reposant sur une obligation de résultat, dans la mesure où ce résultat est maîtrisable par eux (contrôle d'états de végétation) et qu'il traduit une reconnaissance sociale de leur savoir-faire. En revanche, ils peuvent être profondément heurtés par des mesures allant à l'encontre de leur conception du métier d'éleveur.

En forêt, les scénarios mettent en évidence un risque de dégradation du caractère multifonctionnel de la forêt (production de bois de résineux, protection, biodiversité). Les propriétaires privés n'investiront pas dans leurs forêts sans aides publiques, tandis que l'Office national des forêts (ONF) poursuivra vraisemblablement sa politique de récolte des bois dans les forêts soumises, facilement accessibles. Pour s'adapter, les acteurs forestiers expriment un besoin de suivi des écosystèmes et de connaissances sur les changements en cours, parfois discrets à court terme mais lourds de conséquences à long terme (régénération), et sur les capacités d'adaptation à moyen terme à un climat changeant des essences forestières autochtones et de reboisement.

Interactions agriculture-forêt : les parcours plus ou moins boisés soumis au régime forestier, déjà utilisés face aux sécheresses depuis une dizaine d'années, pourraient être des espaces-tampons pour l'élevage.

La poursuite des analyses des données dans les 12 mois qui viennent permettra de formaliser les questions et pistes d'approfondissement (lacunes de connaissances et de données) à aborder pour améliorer la capacité à prédire les effets de la sécheresse sur le territoire étudié, y compris en faisant évoluer le suivi à long terme des écosystèmes et de la gestion pastorale et forestière, et pour satisfaire les demandes exprimées par les acteurs.

Stratégies d'observation à long terme

La mise en place d'un système d'observation adapté aux contraintes des milieux de montagne et aux besoins de leurs acteurs apparaît comme un défi scientifique, et comme une réponse à une demande des acteurs pour soutenir leurs adaptations. L'analyse des réseaux et protocoles existants souligne un foisonnement complexe de réseaux, de dispositifs et de protocoles, dont le principal défi est l'intégration. Sur l'exemple du réseau Alpines Sentinelles, un tel observatoire devra assurer la coordination et la communication entre réseaux, et en particulier entre scientifiques et gestionnaires, entre protocoles pour les paramètres à combiner sur le climat, les écosystèmes (biodiversité et valeur productive) et les pratiques. La multiplicité des échelles spatiales et des pas temporels d'observation pour ces différentes facettes du système est un défi, tout comme le reste la continuité des observations sur le long terme (y compris archivage), et dans l'espace (maintien de réseaux de stations). Le partage de cette démarche entre gestionnaires des espaces naturels, acteurs agricoles, forestiers, scientifiques, et acteurs territoriaux est essentiel pour sa mise en place et sa pérennité, ainsi que pour accompagner l'adaptation.

Liste des principales valorisations des recherches

Articles de revues scientifiques

Benot M.-L., Saccone P., Pautrat E., Vicente R., Colace M.-P., Grigulis K., Clément J.-C., Lavorel S., *en révision*. Management, not summer climate manipulation, drives changes in biodiversity and functioning of a subalpine grassland. *Oecologia*.

Benot M.-L., Saccone P., Vicente R., Pautrat E., Morvan-Bertrand A., Decau M.-L., Grigulis K., Prud'homme M.-P., Lavorel S., *en révision*. How climate change may limit the control by mowing of dominance by *Festuca paniculata* in subalpine grasslands. *Plant Ecology and Diversity*.

Csillery K., Bartalucci A.-L., Kunstler G., Courbaud B., *en préparation*. An interaction between storms and drought increases the risk of tree mortality in the French Alps.

Defossez E., Lasbouygues O., Courbaud B., Kunstler G., *en révision*. Do indirect plant interactions follow the stress gradient hypothesis? An experimental test on the regeneration success of six tree species in the French Alps. *Journal of Ecology*.

Jung V., Albert C.-H., Violle C., Kunstler G., Loucougaray G., Spiegelberger T., *soumis*. Understanding the functional response of grasslands communities to extreme drought events. *Global Change Biology*.

Jung V., Kazakou E., Spiegelberger T., Loucougaray G., *en préparation*. Drought indirectly modifies decomposition in a subalpine grassland through trait-mediated community changes in litter quality.

Lamarque P., Quétier F., Artaux A., Eveilleau C., Nettièr B., Dobremez L., Barnaud C., Lavorel S., *soumis*. A participative scenario approach to mountain grasslands land management change. *Landscape and Urban Planning*.

Nettièr B., Dobremez L., Coussy J.-L., Romagny T., 2010. Attitudes des éleveurs et sensibilité des systèmes d'élevage face aux sécheresses dans les Alpes françaises. *Revue de Géographie Alpine*, [en ligne], 98(4), <http://rga.revues.org/index1294.html> (consulté le 28 juin 2013).

Seignobosc M., Csillery K., Kunstler G. and Courbaud B., *en préparation*. Estimating long term forest mortality time series by combining periodic inventories and harvest reports in a Bayesian state-space model.

Chapitres d'ouvrages

Lavorel S., Spiegelberger T., Mauz I., Bigot S., Granjou C., Dobremez L., Nettièr B., Thuiller W., Brun J.-J., Cozic P., *sous presse*. Coupled long-term dynamics of climate, land use, ecosystems and ecosystem services in the Central French Alps. In: *Long term socio-ecological research: Studies in society-nature interactions across spatial and temporal scales* (S. J. Singh, H. Haberl, M. Chertow, M. Mirtl, M. Schmid, eds). Springer-Verlag.

Mémoires d'étudiants

Artaux A., 2011. Impact de la recrudescence des sécheresses sur les systèmes herbacés subalpins. Conséquences sur les services écosystémiques, mémoire de fin d'études d'ingénieur, ENSAIA, Nancy, 28 p. + annexes.

Bartalucci A.-L., 2011. Recherche de données de gestion permettant la reconstitution historique de la mortalité forestière dans les Alpes, stage de D.U. « Université-Entreprises », Université Joseph Fourier, Grenoble.

Bartalucci A.-L. 2011. Reconstitution historique de la mortalité de forêts alpines, effet de variables climatiques sur le taux de mortalité de ces forêts, stage de D.U. « Université-Entreprises », Université Joseph Fourier, Grenoble.

Boesch N., 2011. Analyse définition et bilan sur les stratégies d'observation à long terme dans le cadre du projet SECALP, portant sur l'impact des sécheresses répétées sur les alpages et la forêt, rapport M2, Université de Rennes 2, Parc national des Ecrins, 128 p. + annexes

Deboeuf E., 2009. Adaptabilité des systèmes d'élevage de haute montagne à des aléas. Le cas de Villar d'Arène (Parc National des Ecrins, Hautes-Alpes), mémoire de fin d'études d'ingénieur ENITA, Clermont-Ferrand, 90 p. + annexes.

Eveilleau C., 2011. S'adapter aux sécheresses à venir dans les Alpes : réactions d'acteurs agricoles et forestiers du Vercors face à des scénarios prospectifs intégrant différentes modalités de recrudescence des sécheresses et d'évolution du contexte socio-économique, mémoire de fin d'étude, Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers, 214 p.

Le Pottier V., 2010. Adaptations et sensibilité des systèmes d'élevages à la sécheresse : cas d'exploitations utilisatrices d'alpages dans le Vercors, mémoire de fin d'études d'ingénieur VetAgro Sup et ésitpa, 44 p. + annexes.

Portier J., 2009. Distribution de la régénération forestière sur les hauts Plateaux du Vercors en fonction d'un gradient de température, stage de Master 1, Université Joseph Fourier, IRSTEA, Grenoble.

Rodron E., Courbaud B., LeQuéau P., 2010. Les acteurs forestiers du Vercors face au changement climatique. Enquête sociologique, rapport d'étude pour le projet SECALP, Université Pierre Mendès France, IRSTEA, Grenoble, 35 p.

Rapports

Ancelet E., 2010. Suivi du déneigement des « alpages sentinelles » du parc national des Ecrins par l'imagerie MODIS snow cover (période 2000 – 2010), rapport pour le parc national des Ecrins, 61 p.

Bigot S., 2011. Mise en place du protocole « humidité du sol » pour le programme « alpages sentinelles », rapport pour le parc national des Ecrins, 27 p.

Dumas E., 2010. Méthodes d'analyse multiscalaire des patrons paysagers dans le parc national des Ecrins, Phase 1 – Rapport PNE, IMEP, 17 p.

Dumas E., 2010. Méthodes d'analyse multiscalaire des patrons paysagers dans le parc national des Ecrins, Phase 3 – Rapport PNE, IMEP, 33 p.

Communications à des colloques scientifiques

Internationaux

Benot M.-L., Saccone P., Grigulis K., Reydet E., Vicente R., Clément J.C., Lavorel S., 2011. Resistance of an alpine meadow after two years of seasonal climate change and an extreme event. *In: 54th Symposium of the International Association for Vegetation Science*. IAVS, Lyon, France. 20-24 juin.

Benot M.-L., Saccone P., Vicente R., Reydet E., Morvan-Bertrand A., Decau M.-L., Grigulis K., Prud'homme M.-P., Lavorel S., 2011. Land-use vs. climate change: do they both represent a threat to subalpine grasslands? A test on the dominant *Festuca paniculata* (L.) Schinz & Thell. *In: 12th European Ecological Federation Meeting*, Ávila, Spain. 25-29 septembre.

Lavorel S., Cozic P., Spiegelberger T., Bigot S., Mauz I., 2010. The French Alps long-term socio-ecological research platform. *Global Land Project Open Science Meeting*, Phoenix, AZ. 17-19 octobre.

Nettier B., Dobremez L., Talichet M., Romagny T., Le Pottier V., 2011. Managing the summer alpine pastures in a context of recurrent droughts. 16th European Grassland Federation (EGF), *Grassland farming and land management systems in mountainous regions*, Raumberg-Gumpenstein (Austria), 28-31 August 2011, Grassland Science in Europe, 16, 61-63.

Nettier B., Dobremez L., Lamarque P., Eveilleau C., Quétier F., Véron F., Lavorel, S., 2012. How would Farmers in the French Alps Adapt their Systems to Different Drought and Socio-economic Context Scenarios? *10th European IFSA Symposium*. Aarhus, Denmark. 1-4 juillet http://www.ifs2012.dk/downloads/WS3_1/Baptiste_Nettier.pdf

Francophones

Jung V., Albert C.H., Violle C., Kunstler G., Loucougaray G., Spiegelberger T., 2011. Rôle de la variabilité intraspécifique dans la réponse de communautés herbacées subalpines à la sécheresse. *ECOVEG 7*, 30 mars – 1^{er} avril 2011, Lausanne, Suisse.

Lamarque P., 2011. Méthodes participatives avec les éleveurs. Cas d'étude du Lautaret (ZA Alpes). Colloque des Zones Ateliers, 4-7 octobre 2011, Rennes, France.

Lavorel, S., Lamarque, P., Courbaud, B., Dobremez, L., Nettier, B., Véron, F., 2012. Adaptation des territoires marginaux aux changements globaux - Le cas des territoires de montagne. *Les Changements globaux : enjeux et défis* (CNFCG), 9-11 juillet 2012, Toulouse.

Posters

Bigot S. Ancellet E. Rabatel., Bonet R., 2010. Etude du déneigement saisonnier des alpages sentinelles du Parc national des Ecrins (France) grâce à l'imagerie MODIS. 12^{èmes} journées scientifiques du réseau télédétection de l'AUF Monastir (Tunisie), 23-25 novembre 2010.

Lamarque P., Quétier F., Artaux A., Eveilleau C., Nettier B., Dobremez L., Lavorel.S., 2011. Farmers playing with hay, manure and future drought !. Colloque des zones Ateliers, 4-7 octobre 2011, Rennes, France.

Lamarque P., Quétier F., Artaux A., Nettier B., Dobremez L., Lavorel S., 2012. A Participatory Approach to Model Ecosystem Services in the Future. Planet Under Pressure 2012, 25th – 29th March 2012, Excel London (UK).

Communications à des séminaires

Nettier B., 2010. Adaptation des systèmes d'élevage des Alpes à la recrudescence des sécheresses. Carrefour Climat du Parc Naturel Régional des Pyrénées ariégeoises, Le Mas d'Azil (09), 5 novembre 2010, diaporama.

Lamarque P., Quétier F., Artaux A., Nettier B., Dobremez L., Lavorel S., 2011. Effets de la sécheresse sur les services des écosystèmes. Une Approche participative. Séminaire Interne INRA Equipe Dynafor, 17 octobre 2011, Toulouse, France.

Presse

Sandra Lavorel, Arbres et plantes prennent de la hauteur. Article paru dans le Dauphiné Libéré, 15 décembre 2011.

FAST - ANALYSE ET SPATIALISATION DE SCÉNARIO INTÉGRÉ DE CHANGEMENT GLOBAL SUR LA FORÊT FRANÇAISE

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 30 novembre 2009

Montant du budget : 991 111 € TTC dont 330 294 € de subvention du MEDDE

Cofinancements obtenus :

- Fontation Tuck Enerbio 2008 : 10 000 €
- ANR DRYADE : 12 000 €
- Fonds propres : 15 851 € et salaires des agents permanents

Coordinateur

André Granier
UMR EEF
INRA Nancy
54 280 Champenoux

Partenaires

Denis Loustau, Alexandre Bosc, Yyothei Kumari, Jean-Michel Carnus, Virginie Moreaux, Tovo Rabemanantsoa - UMR Ephyse, INRA Bordeaux
Marie-Laure Desprez-Loustau, Dominique Piou - UMR Biogeco, INRA Bordeaux

Benoît Marçais - UMR IAM, INRA Nancy

Vincent Badeau, Emmanuel Gritti, Renaud Rabastens - UMR EEF, INRA Nancy

Alain Roques, Christelle Robinet, UR Zoologie forestière - INRA Orléans

Christine Le Bas, Manuel Martin, Dominique Arrouays - UR Infosols, INRA Orléans

Philippe Peylin, Nicolas Viovy - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA

Thierry Bélouard - IGN

Mots-clés : forêt, changement climatique, gestion sylvicole, modélisation, productivité, sécheresse, attaques biotiques, pathogènes, insectes

Objectifs des recherches

Dans le contexte des changements globaux, l'objectif général du projet FAST était d'analyser les évolutions régionalisées de la forêt métropolitaine face aux aléas climatiques et biotiques, avec des scénarios de gestion forestière d'atténuation et d'adaptation. Pour atteindre cet objectif, le projet FAST visait à répondre aux questions suivantes :

1. Quels scénarios futurs cohérents peut-on définir en intégrant l'évolution future du climat, de l'atmosphère, de la demande économique du secteur et de la sylviculture, avec une résolution suffisante pour le support d'aide à la décision ?
2. Quelle sera l'effet direct de ces scénarios sur la forêt ?
3. Quel sera l'effet indirect du changement climatique via une modification des attaques de pathogènes et de ravageurs ?

Présentation des travaux

Introduction

Alors que l'évolution du réchauffement climatique va conduire dans moins de 15 années à des conditions climatiques dépassant fréquemment la variabilité interannuelle à laquelle sont exposées les forêts françaises, le projet FAST visait à projeter à fine échelle les prévisions de production et de fonctionnement des forêts métropolitaines sous plusieurs scénarios de sylviculture, climat et en examinant l'interaction du fonctionnement primaire (production, cycle du carbone, bilans d'énergie et eau) avec un insecte défoliateur et un pathogène fongique dont les sensibilités au climat sont bien documentées.

Matériels et méthodes

Un travail important en amont, non présenté ici, a été réalisé dans le cadre du projet FAST pour collecter et organiser les **données et paramètres du sol** requis par les différents modèles de processus mis en œuvre. Une attention particulière a été portée à la carte des réserves utiles des sols forestiers, en raison de l'importance du facteur sécheresse dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers.

Deux modèles de fonctionnement primaire des forêts ont été mis en œuvre dans le projet FAST, répondant à des exigences différentes en termes de finesse de représentation des processus.

Le **modèle GO+** a été développé au cours du projet par l'Unité INRA

EPHYSE à Bordeaux. Ses versions antérieures, déjà utilisées dans plusieurs projets (GICC-*Carbofor*, ANR-*Climator*), ont été enrichies de modules nouveaux concernant :

- la dynamique du carbone du sol (Roth-C), les travaux forestiers des itinéraires de production classique et intensive et notamment les travaux du sol et le traitement en taillis ;
- la croissance et le développement de la végétation accompagnatrice (sous-étage).

La représentation de l'interaction entre fonctionnement et chenille processionnaire a été développée sous forme d'un modèle adjoint en collaboration avec l'unité d'Entomologie forestière de l'INRA à Orléans et l'Unité BIOGECO. Le modèle GO+ a été implémenté sur une plateforme permettant de réaliser des simulations avec une résolution horaire et à 8x8 km sur plus d'un siècle.

Le **modèle ORCHIDEE-FM**, plus générique, simule les bilans d'eau, de carbone et d'énergie pour tous les écosystèmes terrestres (<http://labex.ipsl.fr/orchidee/>). Il regroupe les forêts en grandes catégories (forêt tempérée caducifoliée et forêt de conifères sempervirents dans cette étude) et permet de simuler l'évolution d'un peuplement composé de différentes classes de diamètre et d'âge évoluant selon différents modes de gestion forestière. Il inclut une compétition basée sur la loi d'auto-éclaircie (*Bellasen et al.*, 2010). Une première étape a consisté à calibrer le modèle avec les mesures *in situ* sur un ensemble de sites français, avant de réaliser des simulations spatialisées sur la France métropolitaine (8 x 8 km) jusqu'à l'horizon 2100.

Les données utilisées étaient les plus à jour au moment du démarrage du projet :

- les scénarios climatiques A2 et A1B avec une régionalisation sur la grille SAFRAN par le modèle ARPEGE (Météo-France) pour la période 1960-2100 ;
- la base de données des sols forestiers développée dans le cadre du projet FAST par l'UMR EEF de Nancy sur cette même grille ;
- la base de données des indices de chenilles défoliation et de densité de nids de chenilles processionnaires (département Santé des Forêts) depuis 1990 sur un réseau de 400 stations. Cette base a été analysée en détail et interfacée avec les données climatiques SAFRAN mises à disposition par le CNRM Météo-France ;
- les itinéraires sylvicoles définis pour le Pin maritime lors des études de prospective INRA- Région Aquitaine-GIP-Ecofor ;

- les données de l'IGN donnant la distribution géographique de la production forestière essence par essence, ainsi que la distribution actuelle des types de forêt ;
- les données expérimentales obtenues par les travaux de thèse de V. Moreaux (Inra-Ephyse) et J.-S. Jacquet (Inra-Biogeco) sur le fonctionnement de jeunes plantations de pins et eucalyptus du Sud-Ouest et les relations productivité et croissance – défoliation par la processionnaire.

Résultats

Impact des insectes et des pathogènes

Dans le cas de la **chenille processionnaire du pin**, nous avons montré que le réchauffement hivernal et le transport accidentel sur de longues distances de l'insecte par l'homme se combinaient désormais pour expliquer son expansion, mais que l'aire actuelle était inférieure à l'aire potentiellement colonisable. Quel que soit le scénario climatique considéré, les simulations générées jusqu'en 2030 par le modèle d'expansion développé dans FAST prédisent une progression vers le nord et en altitude. Toutefois, des événements climatiques extrêmes comme les canicules pourraient localement réduire le niveau de population. Ces résultats ont été utilisés pour nourrir le modèle GO+.

L'impact de la chenille processionnaire sur le fonctionnement et la production des conifères a été modélisé à travers : 1) la diminution de la surface foliaire entre les cohortes d'aiguilles des arbres et 2) le rythme d'activité saisonnière des chenilles. Les effets de cette réduction de la surface foliaire sont répercutés sur les processus de bilan d'énergie, d'eau et de carbone, et finalement sur la croissance.

En parallèle, un travail sur la **tordeuse du mélèze** a confirmé l'effondrement des pullulations cycliques de cet insecte (tous les 8-10 ans) dans sa zone précédemment optimale. Les effets différenciés du réchauffement climatique sur l'arbre et l'insecte apparaissent avoir induit une rupture de synchronisation phénologique entre débourrement foliaire et éclosion des jeunes chenilles. Les insectes tendent alors à se déplacer en altitude afin de restaurer cette synchronisation, affectant des peuplements préalablement peu attaqués.

Ces phénomènes de synchronisation/désynchronisation en relation avec le changement climatique ont été aussi étudiés sur l'oïdium du chêne. Un modèle prédisant la période de production d'ascospores en fonction du climat a été développé et confronté à un modèle existant de débournement des chênes pour calculer un indice de synchronie. L'analyse des données de surveillance montrent que les fortes épidémies d'oïdium du chêne sont associées à des hivers doux dans le Sud-Ouest de la France. Toutefois ces situations ne correspondent pas à une bonne synchronie entre l'oïdium et son hôte et celle-ci ne peut donc être utilisée comme indice de vulnérabilité à l'oïdium.

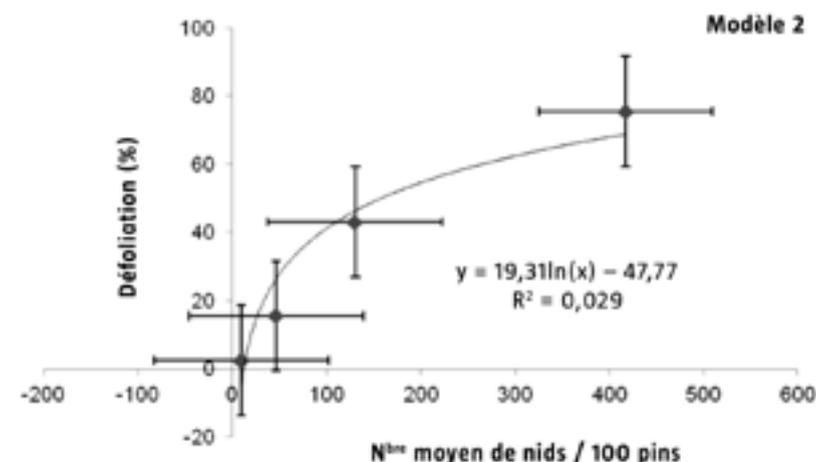


Figure 1. Relation entre densité de nids et % de défoliation par la chenille processionnaire en France métropolitaine de 1990 à 2010. Chaque point donne la moyenne des 400 relevés, les barres donnent l'écart-type observé. La courbe donne la relation modélisée utilisée.

Un autre agent pathogène (*Diplodia pinea*), choisi pour son développement étroitement lié à la sécheresse, a été étudié dans FAST, pour construire un modèle de vulnérabilité des peuplements de pins basée sur la sévérité des déficits hydriques. Les résultats de ce travail montrent que les épidémies de *D. pinea* en France ont largement été déterminées par l'occurrence de sécheresses. Des indices de vulnérabilité, prenant en compte le déficit hydrique des deux dernières années et l'espèce de pin, ont été développés, permettant une bonne explication de la variabilité régionale de ces dépérissements. Ces indices permettent de prédire une aggravation de ces dépérissements avec l'accroissement prévu de la fréquence et de la sévérité des sécheresses.

Impacts des opérations sylvicoles sur les cycles de l'eau et du carbone

Le modèle GO+ a la capacité de représenter les impacts des opérations sylvicoles sur les cycles de l'eau et du carbone des forêts : préparation du sol, débroussaillage, éclaircies, coupe rase, dessouchage. Nous avons pu confronter les simulations de GO+ à différents jeux de données (exemples en figure 2) décrivant la dynamique du carbone de sols forestiers ayant subi diverses opérations de préparation, la croissance et la production annuelle des peuplements de pins maritimes et d'eucalyptus et les flux atmosphériques mesurés sur 5 sites différents. Ces données incluent des événements climatiques majeurs : une vague de chaleur (2003), des sécheresses (2002, 2005, 2006, 2010, 2011), deux tempêtes (1999, 2009).

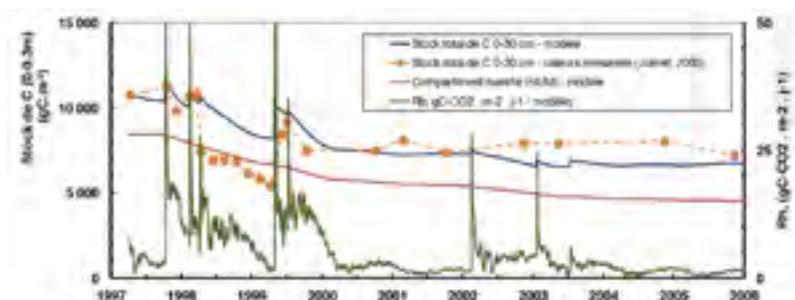


Figure 2. Evolution, observée et simulée par le modèle GO+, du stock de carbone organique du sol (0-30cm) au cours des opérations de préparation du sol postérieures à la coupe finale d'un peuplement de pins maritimes (Site de l'Hermitage, Cestas) et précédant la régénération. La courbe en grisé (Rh, échelle de droite) représente l'évolution de la respiration hétérotrophe du peuplement, correspondant à la dégradation de la matière organique (données de Jolivet (2000)).

Projection au niveau national

La figure 3 présente des simulations de 3 options de sylviculture intensive du Sud-Ouest de la France réalisées avec GO+ sous le scénario climatique A2 (le plus pessimiste). Ces résultats ont un caractère préliminaire et seront suivis de simulations sur la France entière avec un module incluant l'impact de la chenille processionnaire. Chaque barre représente la valeur moyenne de 30 années successives couvrant une ou plusieurs rotations entières, de la plantation à la coupe rase. Ces tests permettent de mettre en évidence :

- l'importance du rôle de la végétation accompagnatrice. Celle-ci participe aux échanges d'eau et de CO_2 de façon d'autant plus importante que les arbres sont jeunes et leur indice foliaire faible. Son influence sur la croissance des arbres est complexe, la végétation rentrant clairement en compétition dans l'exploration du volume du sol pour l'eau d'une part mais étant aussi susceptible de fixer une quantité d'azote atmosphérique plus ou moins significative d'autre part (cet effet n'est pas explicitement pris en compte dans nos résultats). Elle représente aussi un compartiment de stockage du carbone important.
- l'impact des travaux de préparation du sol qui dépriment systématiquement le stock de carbone du sol et dont l'effet dépend de leur fréquence et de la fraction de volume de sol affecté (profondeur et de la surface affectées).

Ces résultats vont dans le sens des conclusions de projets antérieurs (*Carbofor*, *Climator*) montrant un affaiblissement de la production forestière pour des itinéraires

intensifs entre 2035 et 2085 dans le cas de ce scénario. Il est important de noter la réduction drastique du flux de drainage en 2085, notamment sous eucalyptus, ce qui confirme le fort impact de la sylviculture sur la régulation des écoulements de surface et doit alerter le décideur public pour la gestion anticipatrice de la ressource en eau, notamment dans la moitié sud de la France. Dans la futaie de pins, la sensibilité inverse de la production du sous-étage et des arbres au scénario est aussi remarquable : de 2035 à 2085 les arbres voient leur production nette ou brute, diminuer tandis que le sous-étage accroît la sienne.

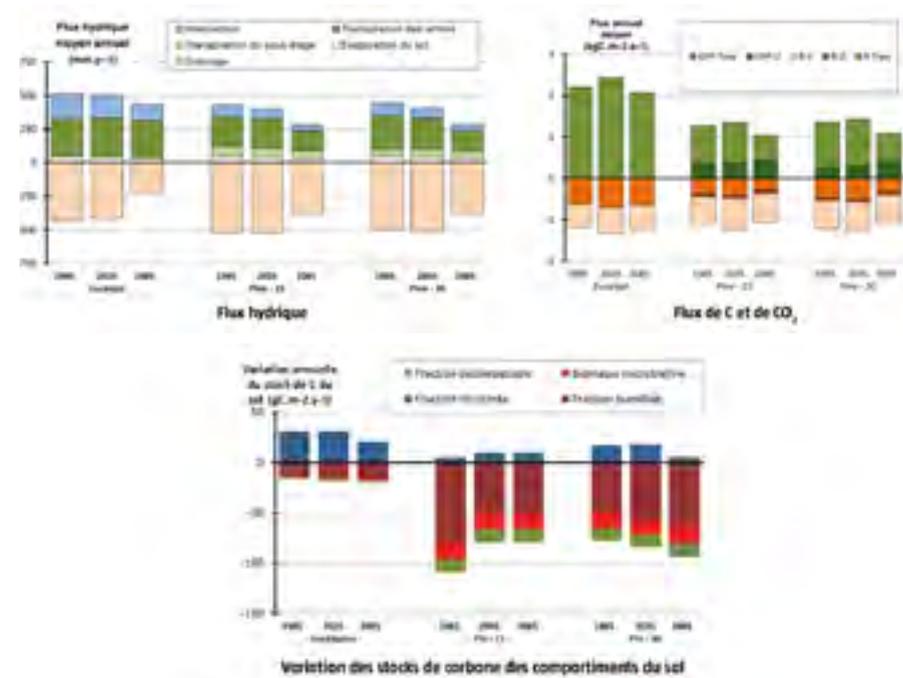


Figure 3. Simulation des valeurs moyennes annuelles par rotation des flux atmosphériques de C- CO_2 et vapeur d'eau et des variations de stock de carbone du sol (Moreaux, 2012). Trois options sylvicoles sont représentées : taillis d'eucalyptus (2 rotations successives de 15 ans), futaie de pin -15 (succession de deux rotations de 15 ans), futaie de Pin -30 (rotation de 30 ans). Les simulations sont réalisées pour trois périodes climatiques centrées sur 1985, 2035 et 2085 (scénario A2, régionalisation Météo-France, Sud Gironde). Un accroissement est compté positivement. GPP Tree et GPP U représentent respectivement la productivité primaire brute (photosynthèse) des arbres et du sous-étage ; Rh, Ru et R tree représentent respectivement les pertes de carbone par respiration hétérotrophe (décomposition de la matière organique), du sous-étage et des arbres. DPM : fraction décomposable, BIO : fraction microbienne ; RPM : fraction résistance ; HUM : fraction humifiée.

Les simulations spatialisées, réalisées avec le modèle ORCHIDEE pour des peuplements de feuillus décidus fournissent des résultats relativement similaires à ceux obtenus avec GO+. Sur l'ensemble des points de grille 8x8 km de la France métropolitaine, différentes trajectoires de classes d'âge jusqu'en 2100 ont été simulées. Les résultats majeurs pour des peuplements de feuillus d'âge uniforme et un scénario sylvicole standard (pratiques « actuelles »), sont illustrés sur la figure 4, en termes de potentiel sur l'ensemble du territoire, intégrant contraintes édaphiques (variabilité spatiale de la réserve utile) et climatiques. Cette notion de potentiel de productivité des forêts feuillues s'applique à des simulations réalisées sous l'hypothèse d'une distribution des feuillus sur tout le territoire national. Il est montré ici que :

- la productivité primaire nette (NPP) augmente légèrement durant la première moitié du 21^{ème} siècle, reflétant une stimulation par l'augmentation des températures et l'effet fertilisant du CO₂ atmosphérique en l'absence de stress hydrique important ;
- à partir de 2050-2060, NPP diminue pour toutes les classes d'âges testées, suite à l'apparition de sécheresses fortes en été, avec dans certaines régions, un stress thermique qui se superpose ;
- spatialement, nous obtenons en 2000, 2050, et 2090, des différences significatives en termes de NPP et de volume de bois exploitable avec des contrastes régionaux marqués, reflétant les potentialités climatiques et pédologiques de chaque région. L'augmentation de productivité en 2050 est plus marquée dans le nord et pour un jeune peuplement, tandis que la diminution en 2090 est plus marquée dans le sud et particulièrement le Sud-Ouest (baisse proche de 20% pour le scénario A1B).

Discussion

Le scénario climatique analysé (SRES IPCC - A2 régionalisation ARPEGE) présente une rupture importante entre 2035 et 2085, notamment en termes de précipitations. La région Sud-Ouest présente par exemple une réduction de 31% entre 1985 et 2085. L'élévation de la température projetée par ce scénario atteint 4,8°C et la concentration en CO₂, 750 ppm en 2099. Cette élévation de la concentration en CO₂ a montré des effets bénéfiques sur les arbres. Cet accroissement ne se traduit pas sur la productivité (NPP) dans la mesure où la respiration autotrophe (Ra) augmente également. Ici, la productivité n'augmente que de 10% en 2035 quelle que soit l'option sylvicole. La fixation nette de carbone de l'écosystème diminue au cours des trois périodes climatiques

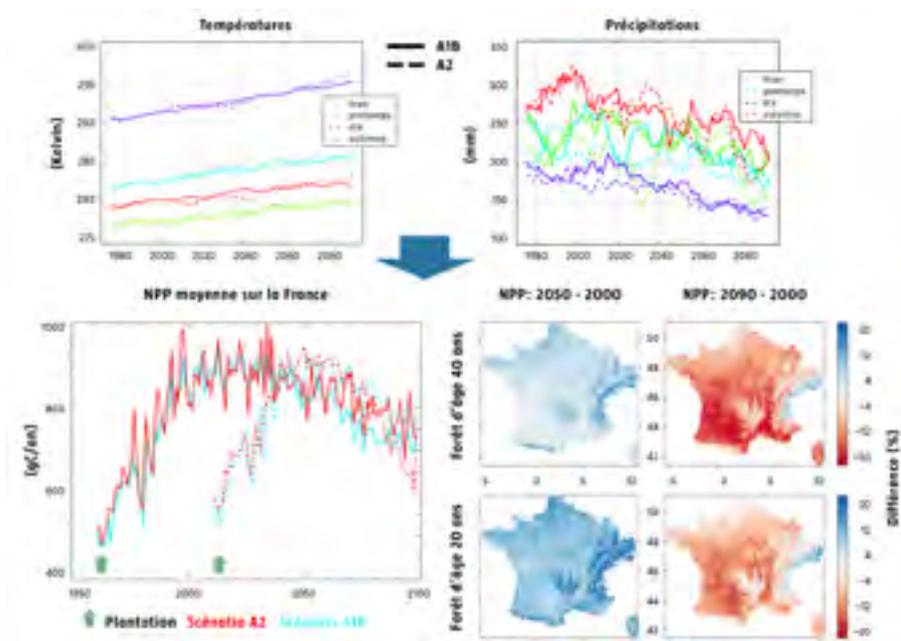


Figure 4. Simulations avec le modèle ORCHIDEE de l'impact potentiel de scénarios climatiques (A1B, moyennement pessimiste et A2, pessimiste) sur la productivité primaire nette (NPP) d'une forêt de feuillus décidus : évolution de NPP en moyenne sur la France distribution spatiale des différences de productivité entre 2050 et 2000 d'une part et 2090 et 2000 d'autre part (calculée en moyenne sur 20 ans).

en raison de l'augmentation de la minéralisation du carbone organique du sol due à l'intensification des pratiques sur ces itinéraires et de l'aggravation des sécheresses en durée et en intensité.

Nous n'avons pas introduit d'effet du CO₂ sur la conductance stomatique, inexistant pour le Pin maritime et par manque de données pour l'eucalyptus. La fermeture stomatique et la chute de l'indice foliaire bien visibles dès 2035 sont dues à la sécheresse. En 2085 les effets simulés des sécheresses accrues sur la dynamique des flux d'eau et de carbone sont en accord avec les résultats présentés par le projet CLIMATOR à l'échelle du Sud-Ouest (Brisson et Levraut, 2010) pour lesquels les sécheresses édaphiques et atmosphériques sont considérées comme les contraintes majeures.

Le modèle ORCHIDEE prévoit en 2050 une augmentation de productivité et du volume de bois exploitable d'environ 10% dans le nord de la France. Cette augmentation est proportionnellement plus forte pour les jeunes peuplements et amplifiée avec un scénario climatique plus intensif (A2 versus A1B). Après 2050, la réduction des précipitations estivales explique principalement la diminution de productivité, atteignant 20% avec le scénario A1B dans le Sud-Ouest et seulement 10% dans les régions du nord ou montagneuses. Notons qu'une simulation avec ORCHIDEE d'un taillis à très courte révolution (avec coupe tous les 3 ans et retrait des souches tous les 18 ans) indique de manière similaire une baisse de productivité en 2100 mais proportionnellement plus faible que pour un peuplement de 40 ans. Ce résultat reste néanmoins conditionné aux hypothèses de développement racinaire, supposé suffisamment rapide dans ORCHIDEE pour explorer toute la réserve utile du sol. De manière générale, les résultats sont très sensibles à la calibration du modèle et en particulier à la prise en compte de l'impact de l'augmentation du CO₂ atmosphérique sur la conductance stomatique. La simulation d'un tel effet a été en partie calibrée avec les résultats des expériences d'enrichissement en CO₂ (FACE, Norby *et al.*, 2010), mais une prise en compte explicite d'une limitation par la disponibilité en azote (en cours d'implémentation) reste un point clé à améliorer.

Conclusions et perspectives

L'estimation quantitative des impacts climatiques, sylvicoles et de ravageurs pour la France entière et à fine échelle (8 x 8 km) a finalement été explorée avec succès même si toutes les conclusions qui peuvent en être tirées ne sont pas encore analysées. La simulation à cette échelle fine avec un modèle à base de processus incluant les opérations de conduite sylvicole courantes est techniquement opérationnelle.

L'impact du changement climatique sur la productivité d'un peuplement de feuillus sur la France métropolitaine (simulée par le modèle ORCHIDEE) varie selon l'âge du peuplement : un peuplement de 20 ans apparaît plus sensible à l'intensité du changement climatique (scénario A2 vs A1B) qu'un peuplement de 40 ans (figure non montrée). Cette sensibilité dépend principalement du niveau de stress hydrique estival et donc de la réserve utile en eau des sols. Ainsi, toute transition vers une pratique sylvicole plus intensive pourrait être à terme moins bénéfique qu'escompté initialement. Cependant un bilan de carbone complet incluant le compartiment sol, une prise en compte explicite d'une structure d'âge réaliste et des trajectoires sylvicoles contrastées, est nécessaire et en cours de réalisation.

Le transfert et l'application à la gestion des résultats de ce type d'analyse nous semblent encore mériter les étapes suivantes :

- Au niveau national voire européen, la confrontation de résultats de simulations à fine échelle de plusieurs modèles et de différents scénarios climatiques récents¹ afin de mieux identifier les marges d'incertitude de ces simulations.
- Le développement d'approches de modélisation spatiale au niveau régional. Les simulations au niveau national ne sont pas à même de décliner les impacts et leurs implications région par région pour un territoire aussi diversifié (sols, climats, essences, pathogènes et insectes) que la France métropolitaine.
- Une interaction participative avec les acteurs (sylviculteurs, gestionnaires, transformateurs, aménageurs) très en amont de ces analyses de scénario afin d'affiner les itinéraires adaptatifs envisageables, leurs marges de rentabilité et d'opérabilité, leur distribution géographique locale etc., selon des informations spatiales à plus fine échelle.

Acquis en termes de transfert

Nous montrons que l'intensification de la sylviculture dans un contexte de réchauffement se traduit par une diminution nette du stock de carbone dans tous les compartiments de l'écosystème. Cette perte sur site est due aux opérations de préparation du sol (labour, disquage) et au raccourcissement des rotations. Sur un strict plan du bilan de gaz à effet de serre forestier, des techniques de préparation moins perturbantes devraient donc être développées et mises en place (zéro labour ou labour partiel, utilisation raisonnée du sous-étage). Le rôle clé de la végétation accompagnatrice doit aussi être mieux pris en compte dans les techniques de gestion. Le sous-bois pourrait être géré comme un auxiliaire de la production des arbres par l'introduction de légumineuses (peuplements jeunes et peuplements clairs) ou pour sa production elle-même (production mellifère, biomasse...); ses effets négatifs (compétition, risque de feux de forêt) pourraient aussi être largement atténués par une gestion optimale (destruction mécanique partielle atténuant la compétition).

Nous n'avons pas estimé le bilan du cycle de vie complet des alternatives de sylviculture proposées, intégrant en aval les produits forestiers et en amont la

1 – (Representative Concentration Pathways couvrant des hypothèses de réchauffement allant de 2.6 à 8.5 °C en fin de siècle).

préparation et le transport des intrants (plants, graines, fertilisants, engins forestiers, carburant...) celui-ci devra bien évidemment être pris en compte pour éclairer la prise de décision des acteurs.

La spécialisation des forêts et la distribution géographique régionale et subrégionale des options de sylviculture sont les points clés d'une gestion adaptative. Cela ne remet pas en cause la multifonctionnalité des forêts françaises dans leur ensemble mais plaide pour une identification de la faisabilité sylvicole, économique et écologique des options de sylviculture au cas par cas et la mise en place d'approches de descente d'échelle du national au local. Cette proposition ressort du constat que les simulations de scénarios à l'échelle nationale sont assez bien cohérentes et concordantes entre elles, cette voie de recherche offre sans doute assez peu de perspective de renouvellement et d'innovation. Elles demeurent néanmoins trop frustrées pour appuyer l'aide à la décision à l'échelle de l'unité de gestion (plan d'aménagement, plan de gestion) où les conditions stationnelles et leur évolution, les risques phytosanitaires, le spectre écologique de chaque essence et les potentialités économiques de chaque scénario de gestion doivent être pris en compte. Les premières confrontations des résultats du projet avec les professionnels comme le CNPF, CRPFs, ou le RMT AFORCE plaident pour la mise en place d'analyse participative de scénarios co-construits à l'échelle subrégionale et a suscité le dépôt de plusieurs propositions de recherche-transfert en 2013 allant dans ce sens (ANR, ADEME, CNRS).

La sensibilité forte à la sécheresse des itinéraires de production intensifs et la capacité d'extraction d'eau du sol de l'eucalyptus, supérieure aux essences locales, incitent à la prudence pour leur utilisation dans les milieux exposés à des scénarios de déficit pluviométrique en aggravation. Elle doit se raisonner dans un contexte de gestion régionale de la ressource hydrique. Il serait pertinent d'approfondir cette option en explorant l'utilisation d'autres essences à croissance rapide.

Les résultats des simulations spatialisées à l'échelle de la France indiquent que l'effet fertilisant lié à l'augmentation du CO₂ et la sensibilité à la sécheresse estivale sont deux facteurs clés pour le choix d'itinéraires de production et que ceux-ci doivent donc s'appuyer sur la sensibilité de chaque espèce à ces facteurs.

Une interaction participative avec les acteurs (sylviculteurs, gestionnaires, transformateurs, aménageurs) très en amont de ces analyses de scénario est nécessaire afin d'affiner les itinéraires adaptatifs envisageables, leurs marges de rentabilité et d'opérabilité, leur distribution géographique locale etc., selon des informations spatiales à plus fine échelle.

Liste des principales valorisations des recherches

Chapitre d'ouvrage collectif

Roques L., Rossi J.-P., Rousselet J., Berestycki H., Garnier J., Soubeyrand S., Robinet C, soumis. Modelling the spatio-temporal dynamics of the pine processionary moth. In: *Processionary moths and global change: an update* (Roques A., ed.), chapter 8, éditions Quae, Versailles.

Articles dans une revue scientifique

Fabre B., Piou D., Desprez-Loustau M.-L., Marçais B., 2011. Can the emergence of pine Sphaeropsis shoot blight in France be explained by changes in pathogen pressure linked to climate change? *Global Change Biology*, 17, 3218–3227.

Jacquet J.-S., Orazio C., Jactel H., 2012. Defoliation by processionary moth significantly reduces tree growth: a quantitative review. *Annals of Forest Science*, 69, 857–866.

Marçais B., Desprez-Loustau M.-L., *sous presse*. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science*.

Moreaux V., Lamaud E., Bosc A., Bonnefond J.-M., Medlyn B., Loustau D., 2011. Paired comparison of water, energy and carbon exchanges over two young maritime pine stands (*Pinus pinaster* Ait.): effects of thinning and weeding in the early stage of tree growth. *Tree Physiology* 31, 903–921.

Moreaux V., O'Grady A., Nguyen-The N., Loustau D., *sous presse*. Water use of young maritime Pine and Eucalyptus stands in response to climatic drying in south-western France. *Plant Ecology and Diversity*.

Robinet C., Imbert C.-E., Rousselet J., Sauvard D., Garcia J., Goussard F., Roques A., 2012. Human-mediated long-distance jumps of pine processionary moth in Europe. *Biological Invasions*, 14, 1557–1569.

Robinet C., Roques A., 2010. Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology*, 5, 132–142.

Robinet C., Rousselet J., Pineau P., Miard F., Roques A., *sous presse*. Are heatwaves susceptible to mitigate the expansion of a species progressing with global warming? *Ecology and Evolution*.

Robinet C., Rousselet J., Roques A., 2013. Potential spread of the pine processionary moth in France: preliminary results from a simulation model and future challenges. *Annals of Forest Science* [en ligne], DOI 10.1007/s13595-013-0287-7.

Publications scientifiques prévues

Jacquet J.-S., Bosc A., O'Grady A., Jactel H., *soumis*. Pine growth response to processionary moth defoliation across a 40-year chronosequence. *Tree Physiology*.

MacInerney D., Peylin P., Viovy N., Luysaert S., Poulter B., Ciais P., Belassen V., *en préparation*. Impact of climate change and forest management on french forest productivity using ORCHIDEE model. *Ecological modelling*.

Peylin P., Viovy N., Luysaert S., Poulter B., Ciais P., Belassen V., *en préparation*. Impact of climate change and forest management on French forest productivity using ORCHIDEE model. *Ecological modelling*.

Santaren D., Peylin P., Bacour C., Ciais P., Granier A., *en préparation*. Fluxnet data to optimize and validate a terrestrial biosphere model. *Global Biogeochemical Cycles*.

Thum T., Peylin P., Bacour C., Kuppel S., Santaren D., Ciais P., Granier A., Loustau D., *en préparation*. Use of biomass data in addition to CO₂/H₂O flux data in Model Data Fusion at two temperate forest sites. *Global Biogeochemical Cycles*.

Conférences présentées à un congrès

Jacquet J.-S., Jactel H., Piou, D. Orazio, C. 2009. Evaluation de l'impact des défoliations de la Processionnaire du pin sur la croissance des arbres : comparaison des résultats obtenus par méta-analyse, étude empirique et mesures dendrochronologiques. *In : Conférence GEF, 20-22 octobre 2009, Semur-en-Auxois, France, Groupe des entomologistes forestiers francophones.*

Jacquet J.-S., Bosc A., Jactel H., 2011. Effects of PPM defoliations on tree growth. *In: International meeting on pine processionary moths, 17-19 octobre 2011, Belgodère, Corse, France, URZF, INRA.*

Jactel H., Jacquet J.-S., Samalens J.C., Bories N., Flot J.L., Piou D., 2011. Between Scylla and Charybdis, abiotic and biotic drivers of bark beetle infestations. *In: IUFRO WP.7.03.05 meeting, Novel risks with bark and wood boring insects in broadleaved and conifer forests, 7-9 September 2011, Sopron, Hungary, IUFRO.*

Loustau D., Moreaux V., Bosc A., 2012. Modelling the impact of silvicultural intensification on the forest carbon cycle: A brief history of process based modelling and lessons from a case study, *In: Réunion de travail PIK-INRA-LMB, 23 mars 2012, Paris, INRA.*

Loustau D., Moreaux V., 2011. Forest water use: what do chronosequences tell us about? A brief survey of literature. *In: Tribute to Pr John Grace retirement, 15-22 avril 2011, Bologne, Italie, Université de Bologne.*

Loustau D., Moreaux V., Bosc A., Trichet P., Kumari J., Rabemanantsoa T., Balesdent J., Jolivet C., Medlyn B.E., Cavaignac S., Nguyen-The N., 2012. A climate sensitive model of carbon transfer through atmosphere, vegetation and soil in managed forest ecosystems. *In: AGU Fall Meeting, 3-7 décembre 2012, San Francisco, USA, American Geophysical Union.*

Moreaux V., Loustau D., Lamaud E., Bonnefond J.M., Bosc A., 2010. Water energy and carbon exchanges in young coniferous plantations: effect of the presence of gorses. *In: IUFRO Canopy Processes Working Group "Sir John Oliphant's conference", 7-15 octobre 2010, Falls Creek, Tasmanie, Australie, IUFRO.*

Moreaux V., 2009. Modélisation biophysique de la production et des échanges atmosphériques de cultures forestières à croissance rapide : Application au cas de jeunes peuplements de Pins maritimes et d'Eucalyptus. *In : Journée thèse des bois, 29 janvier 2009, Mimizan, France, Pôle Xylofutur.*

Moreaux V., Bosc A., Bonnefond J.-M., Burlett R., Lamaud E., Sartore M., Trichet P., Chipeaux C., Lambrot C., Kowalski A.-S., Loustau D., 2012. Carbon dynamics of intensively managed forest along a full rotation. *In: AGU Fall Meeting, 3-7 décembre 2012, San Francisco, USA, American Geophysical Union.*

Robinet C., Imbert C.-E., Rousselet J., Sauvard D., Garcia J., Goussard F., Roques A., 2010. Heated islands and the trade of large trees responsible for long distance jumps of the pine processionary moth beyond its expanding edge. *In: Population dynamics, biological control, and integrated management of forest insects, 12-16 septembre 2010, Eberswalde, Germany, IUFRO.*

Robinet C., Rousselet J., Goussard F., Garcia J., Roques A., 2011. A simulation model to predict the pine processionary moth range expansion in France based on active flight, human-mediated dispersal and climate warming. *In: International meeting on pine processionary moths, 17-19 octobre 2011, Belgodère, Corse, France, URZF-INRA.*

Robinet C., Rousselet J., Goussard F., Garcia J., Roques A., 2012. Observed and expected impact of climate change on a defoliator insect species, the pine processionary moth, in France and Europe. *In: International conference "Tackling climate change: the contribution of forest scientific knowledge", 21-24 May 2012, Tours, France, GIP Ecofor.*

Roques A., 2011. Global warming and changes in geographic range of plant pests: the case of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*. In: *EFSA Scientific Colloquium XVI "Emerging Risks in Plant Health: From plant pest interactions to global change"*, 9 - 10 June 2011, Parma, Italy, EFSA.

Roques A., Robinet C., Rousselet J., 2013. Movement of mature trees by man, an unexpected pathway for invasion of the urticating pine processionary moth. In: *24th USDA Interagency Research Forum "Invasive Species"*, 8-11 January 2013, Annapolis, Maryland, USA, USDA.

Mémoires de thèse

Moreaux V., 2012. Observation et modélisation des échanges d'énergie et de masse de jeunes peuplements forestiers du Sud-Ouest de la France, thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 283 p.

Jacquet J.-S., 2012. Impacts des défoliations de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) sur la croissance du pin maritime (*Pinus pinaster*), thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 175 p.

Bibliographie

Bellassen V., Le Maire G., Dhôte J.-F., Ciais P., Viovy N., 2010. Modelling forest management within a global vegetation model - Part 1: Model structure and general behaviour. *Ecological Modelling*, 221, 2458–2474.

Brisson N., Levault F., 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010), ADEME éditions, Angers, 336 p.

Norby R.J., Warren J.M., Iversen C.M., Medlyn B.E., McMurtrie R.E., 2010. CO2 enhancement of forest productivity constrained by limited nitrogen availability. *PNAS*, 107(45), 19368–19373.

Jolivet C., 2000. Le carbone organique des sols des Landes de Gascogne Variabilité spatiale et effets des pratiques sylvicoles et agricoles. Thèse de doctorat, Université de Dijon, 334 p.

SAO POLO - STRATÉGIES D'ADAPTATION DES OUVRAGES DE PROTECTION MARINE OU DES MODES D'OCCUPATION DU LITTORAL VIS-À-VIS DE LA MONTÉE DU NIVEAU DES MERS ET DES OCÉANS

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date de démarrage : le 1^{er} janvier 2010

Montant de l'aide : 213 350 € TTC

Budget total : 429 678 € TTC

Coordinateur

Philippe Sergent

Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales

2, boulevard Gambetta BP 60 039

F-60321 Compiègne cedex

Email : philippe.sergent@developpement-durable.gouv.fr

Partenaires

Philippe Sergent, Céline Trmal, Céline Perherin, Guirec Prévot, Nicolas Guillou, Xavier Kergadallan, Jean-Jacques Trichet, Michel Lam, Gérard Le Banner, François Bouttes - Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales

Pascal Mallet - Communauté de l'Agglomération Havraise

Michel Benoit, Marilyne Luck, Giovanni Mattarolo, Jean-Romain Delisle, Jean-Michel Menon - Électricité de France

Ndeye-Fatou Mar - Office des Risques Majeurs de l'Estuaire de la Seine.

François Ropert - REPORTEX

Jérôme Brossard, Dang Trinh Nguyen - Université du Havre

Gilles Morel, Ndeye-Fatou Mar, Nassima Voyneau - Université de Technologie de Compiègne

Mots-clés : changement climatique, impact, adaptation, houle, surcote, marée, niveau moyen de la mer, structure côtière, génie côtier, travaux maritimes, confortement, renforcement, dimensionnement, repli stratégique, franchissement, stabilité

Objectifs des recherches

Avec la remontée du niveau moyen de la mer, les digues côtières seront exposées à des vagues dont la hauteur sera plus grande que la valeur de dimensionnement, notamment toutes les structures construites en faibles profondeurs où la profondeur impose l'amplitude maximale à cause du déferlement bathymétrique. Schématiquement, avec l'augmentation progressive des dommages, le gestionnaire adoptera une des stratégies suivantes selon la sévérité des changements : a) réparer l'ouvrage à l'identique b) renforcer l'ouvrage c) changer les dimensions de l'ouvrage et l'occupation de l'espace à proximité d) lancer un repli stratégique et démolir l'ouvrage. L'objectif des recherches est de fournir d'une part des recommandations pour les stratégies intermédiaires (b ou c) et d'autre part une méthodologie de sélection parmi les quatre stratégies.

Présentation des travaux

Introduction

Les méthodes utilisées actuellement pour le dimensionnement des ouvrages ne sont pas adaptés au changement climatique pour trois raisons :

- le dimensionnement n'est pas basé sur une approche statistique, seule approche permettant de gérer la complexité des aléas côtiers ;
- les règles de dimensionnement sont en général proposées pour des ouvrages neufs et considèrent mal le renforcement des ouvrages anciens ;
- l'ouvrage est en général considéré seul et non pas dans un système de danger. Or le danger se situe à plusieurs échelles (l'échelle de l'ouvrage, l'échelle de la zone directement protégée par l'ouvrage, l'échelle de la zone impactée par le risque de submersion).

Le projet SAO POLO vise à répondre à ces trois problématiques.

Matériels et méthodes

Le projet utilise :

- des méthodes analytiques et statistiques pour estimer les impacts du changement climatique en termes de franchissements et stabilité sur des structures côtières situées en zone de déferlement avec une bathymétrie régulière et une houle normale à la côte ainsi que les conséquences sur l'actualisation des dimensions (stratégie c).

- des méthodes d'essais physiques en canal à houle pour étudier le renforcement de trois types d'ouvrages de défense existants (stratégie b).
- une étude cas sur le quartier Malraux de la ville du Havre pour établir une stratégie socio-économique de choix parmi les quatre stratégies (a-b-c-d).

Résultats et discussion

Actualisation du dimensionnement des ouvrages

Une *étude analytique* est menée pour un ouvrage situé en zone de déferlement. L'élévation de la cote d'arase de l'ouvrage ΔD entre l'état final (avec élévation du niveau de la mer Δh) et l'état actuel est obtenue pour des débits de franchissement faibles (i.e. $q < 5 \cdot 10^{-2} \text{m}^3/\text{ml/s}$). Le rapport $\frac{\Delta D}{\Delta h}$ dépasse toujours

1 et s'approche de 2 pour des ouvrages perméables et 3 pour des ouvrages imperméables. Quelles que soient les conditions de houles au large, les ouvrages implantés dans des zones très peu profondes (hauteur en pied de 0 à 2 m) risquent d'après les calculs de subir aussi de très forts dommages sur leur carapace. Les ouvrages les plus concernés risquent d'être les ouvrages de haut de plage. Comme l'élévation de la cote d'arase de l'ouvrage, le poids nécessaire des blocs augmente linéairement avec la remontée du niveau moyen de la mer.

Une *méthode statistique* basée sur une méthode de Monte Carlo et sur les probabilités conjointes (Houle, Niveau) a été ensuite testée sur la digue de Deauville (figure 1). La base de données générées représente l'équivalent de 10 000 ans de données de pleines mers soit 7 060 000 conditions exploitables. Ces dernières ont été ensuite propagées et les franchissements induits ont été déterminés en faisant varier le niveau moyen de la mer. Deux types de résultats ont été obtenus : (a) l'évolution des périodes de retour des événements de franchissements avec une augmentation du niveau d'eau ; (b) le rehaussement nécessaire des ouvrages pour conserver les mêmes périodes de retour de franchissements.

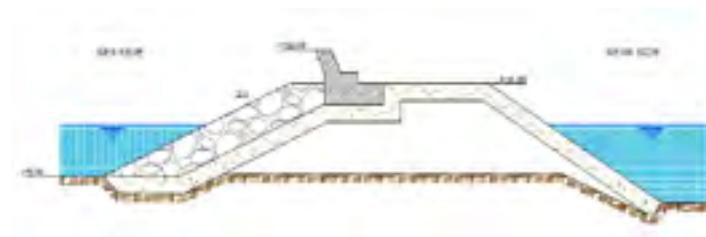


Figure 1. Digue de Deauville.

Les résultats en termes de période de retour sont rassemblés dans le tableau 1.

Tableau 1. Évolution des périodes de retours pour Deauville (étude statistique).

Digue de Deauville – $q = 5.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s/ml}$				
Augmentation du niveau d'eau (cm)	0	40	60	100
Nombre d'occurrences ($q > 5.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s/ml}$)	10	71	218	2437
Période de retour correspondante (an)	1000	141	46	4

Le débit d'étude pour Deauville est fort ($5.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s/ml}$), débit provoquant le naufrage des plus petits navires en arrière de la digue à cause des franchissements. C'est pour cela que la période de retour actuelle est importante (1 000 ans). La grande valeur de la période de retour initiale implique une variation rapide de cette valeur avec l'élévation du niveau de la mer. Les résultats en termes d'augmentation de la cote d'arase sont rassemblés dans le tableau 2.

Tableau 2. Évolution des cotes d'arase pour Deauville (étude statistique).

Digue de Deauville – $q = 5.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s/ml}$				
Élévation du niveau moyen de la mer (cm)	0	40	60	100
Augmentation de la cote d'arase de la digue (cm)	0	57	85	140

Pour des ouvrages en enrochements, l'étude analytique montre que pour une élévation du niveau moyen de la mer d'un mètre, le rehaussement de l'ouvrage est égal à 1,74 m pour un débit de $5.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s/ml}$. Les résultats de l'analyse statistique modèrent ces résultats car le rehaussement prévu est de 1,40 m à Deauville pour $5.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s/ml}$. Cette différence vient du fait que, dans l'analyse statistique, l'ensemble des conditions de houle est pris en compte (conditions de déferlement et conditions de shoaling) alors que dans l'étude analytique seules les houles en conditions de déferlement sont étudiées. Si seules les conditions de shoaling étaient prises en compte, le rehaussement serait environ égal à l'élévation du niveau moyen de la mer, soit 1 m.

Renforcement des ouvrages

Nous rappelons les stratégies d'adaptation proposées à un gestionnaire : a) réparer l'ouvrage à l'identique b) renforcer l'ouvrage c) changer les dimensions de l'ouvrage et l'occupation de l'espace à proximité d) lancer un repli

stratégique et démolir l'ouvrage. Le redimensionnement de l'ouvrage est une opération coûteuse. Le gestionnaire se contentera souvent d'un renforcement (stratégie b). Le renforcement a été étudié sur trois types d'ouvrage à l'aide d'essais physiques.

La première étude a été réalisée en canal à houle au Laboratoire Ondes et Milieux Complexes FRE-CNRS 3102 de l'Université du Havre en 2010 et 2011 pour caractériser quelques options de renforcement pour un ouvrage maritime à talus en enrochements. Pour une surélévation du niveau moyen de 1 m, parmi les solutions envisagées, seul le renforcement de la digue par une troisième couche de BCR et un rehaussement du mur de couronnement jusqu'au niveau de la berme supérieure permet de limiter les débits de franchissement aux valeurs initiales (figure 2). Avec des blocs de mêmes dimensions que ceux des deux couches initiales, la stabilité de la carapace est nettement améliorée par rapport à la configuration initiale.

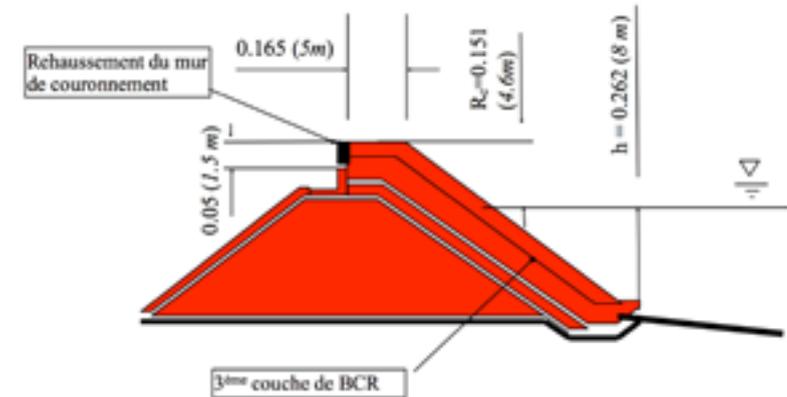


Figure 2. Renforcement préconisé pour l'ouvrage maritime.

La deuxième étude a été réalisée en canal à houle au Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement en 2011 pour étudier expérimentalement différentes solutions de renforcement de perrés maçonnés imperméables permettant de conserver les caractéristiques en franchissement suite à une remontée maximale du niveau moyen de la mer de 1 m. Les solutions de renforcement s'avérant les plus pertinentes sont le parapet de hauteur 1 m et le bassin de déversement, dans la mesure où elles permettent à l'ouvrage d'atteindre en climat futur des performances en termes de franchissement voisines ou légèrement meilleures que celles constatées en climat actuel avant mise en place du renforcement (figure 3). Les solutions consistant à ajouter des enrochements sur la pente du perré sont quant à elles non adaptées dans la mesure où, bien

qu'efficaces dans un premier temps pour réduire les franchissements, elles présentent des problèmes de stabilité (malgré le calibre important des blocs mis en œuvre dans les essais, à savoir 4-6 T).

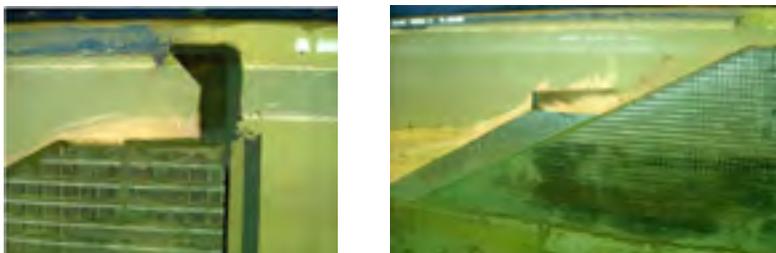


Figure 3. Renforcements préconisés pour le perré maçonné imperméable : béquet à gauche et bassin de déversement à droite.

La troisième étude a été réalisée en canal à houle au Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement en 2011 et 2012 pour étudier expérimentalement différentes solutions d'une protection de haut de plage en enrochements avec noyau perméable permettant de conserver les caractéristiques en franchissement et de stabilité suite à une remontée maximale du niveau moyen de la mer de 1 m. Parmi les solutions testées, les deux configurations qui ont montré la meilleure performance sont les suivantes (figure 4) : 1) troisième couche construite avec des blocs de taille 5-6 T couplée avec un parapet de 2 m de hauteur ; 2) changement de la pente de l'ouvrage (pente 1:3 au lieu de 1:2) et construction d'un parapet de 1 m de hauteur. La solution du parapet seul n'a pas été retenue en raison de problèmes d'instabilité de l'ouvrage.



Figure 4. Renforcements préconisés pour la protection de haut de plage en enrochements : 3^{ème} couche de blocs de 5-6 T et parapet de 2 m (à gauche) et changement de pente + parapet (à droite).

Sélection de la stratégie de défense pour le quartier Malraux au Havre

La ville du Havre est située à l'extrémité de la partie Nord de l'embouchure de l'estuaire de la Seine, ce qui lui confère une large étendue frontale avec la mer sur près de 15 kilomètres d'interface terre / mer. Les potentiels points de passage de l'eau depuis la mer vers la terre sont nombreux et le risque de submersion marine est donc bien réel. Ce site a été sélectionné à la fois pour sa diversité de situation de submersion (par débordement et franchissement), de protection par des ouvrages, la disponibilité des données précises du territoire et l'engagement des décideurs à affronter cette question du risque submersion à travers des études et recherches.

Le quartier Malraux protégé par un ouvrage en enrochements surmonté lui-même d'un muret est un des sites les plus intéressants pour notre étude car l'ouvrage soumis à la houle peut subir des dommages lors des événements extrêmes. Nous avons calculé, pour différentes élévations du niveau moyen (ENM), le volume total d'eau qui franchit l'ouvrage de protection (et qui va inonder la ville) pendant la durée d'un événement extrême (marée haute + tempête) estimé au Havre à environ 2 heures. Pour cela, le débit moyen est d'abord calculé (par mètre linéaire) sur un tronçon du parapet puis multiplié par la longueur du tronçon puis par la durée de 2 heures pour obtenir un volume sommé sur la longueur de l'ouvrage.

On souhaite connaître la carte d'inondation correspondant à ce volume d'eau dans la zone considérée qui est modélisée comme une cuvette dont on définit les limites maximales côté terre et qui va se remplir par le bas. L'inondation par franchissement sur le quartier Malraux est étendue du fait de la topographie peu élevée.

En l'absence d'information sur les caractéristiques de l'ouvrage actuel, nous avons fait l'hypothèse que celui-ci était actuellement stable lorsqu'il était soumis à une houle centennale. L'ouvrage n'est pas soumis directement aux houles du large car situé dans l'avant-port. Un abaque de diffraction a donc été utilisé pour déterminer les houles incidentes sur l'ouvrage qui est supposé composé d'enrochements de gamme 1-3 T. La méthode statistique d'estimation des dommages est la même que celle utilisée pour les franchissements. À partir de la base de données, les conditions de mer sont propagées jusqu'à la côte : les hauteurs de houle sont donc connues à l'entrée du port, le coefficient de diffraction est ensuite appliqué. La formule d'Hudson est ensuite utilisée pour analyser la stabilité de la digue. Le critère étudié n'est donc plus le débit de franchissement q , mais l'endommagement via le coefficient de stabilité Kd . Les résultats obtenus sont des endommagements extrêmes. L'analyse statistique permet de déterminer la période de retour de l'endommagement (*cf.* tableaux 3 et 4) et donc leur fréquence.

Tableau 3. Valeurs du coefficient de stabilité Kd selon toutes les périodes de retour étudiées et 4 niveaux d'ENM.

période de retour (an)		1000	500	333	250	200	166.7	142.8	125	111	100	40	20
ENM (m)	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
	0.5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	1	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
	1.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5
	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6

Pour l'estimation économique, nous retenons quatre stades de dommages de la carapace de l'ouvrage en référence aux principaux guides de conception : début de dommages, dommages intermédiaires, dommages importants, rupture, chacun étant caractérisé par une valeur de Kd , le coefficient de dommage, reliée à un pourcentage de blocs déplacés dans la carapace.

Tableau 4. Correspondance des valeurs de Kd avec le niveau de dommage, le pourcentage de blocs déplacés et les coûts des réparations.

Kd	Signification	Dommage en % de blocs déplacés	Coûts des réparations (estimations)
4	début de dommages	0-5	0 € HT/ml
5	dommages intermédiaires	5-10	500 € HT/ml
6	dommages importants	10-15	2 500 € HT/ml
7	rupture	15-20	30 000 € HT/ml

Pour la stratégie du laisser-faire, on peut raisonnablement penser que le maître d'ouvrage réalisera des travaux en fonction des différents stades de dommages :

- en début de dommages, aucun programme de travaux n'est envisagé ;
- en dommages intermédiaires, le maître d'ouvrage engage un programme de travaux où il remet en place les enrochements manquants ;
- en dommages importants, le maître d'ouvrage engage un confortement général de la carapace ;
- en rupture, le remplacement de l'ouvrage est envisagé par un ouvrage identique.

Les coûts de réparation supportés par le maître d'ouvrage sont rassemblés dans le tableau 4. Pour la stratégie de renforcement, les estimations des coûts de renforcement du tableau 5 peuvent être retenues.

Tableau 5. Estimations du coût des renforcements pour chaque coefficient de dommage utilisé

	Renforcement des structures	Estimations
1	Ajout d'un parapet de 50 cm de hauteur	1 500 € HT/ml
2	Ajout d'un bassin de déversement sur digues à talus	7 000 € HT/ml
3	Ajout d'une berme	5 000 € HT/ml
4	Ajout d'une digue détachée	25 000 € HT/ml
5	Ajout d'une nouvelle couche d'enrochement	2 500 € HT/ml

Le maître d'ouvrage, compte-tenu des coûts et du résultat des essais en modèles physiques, se dirigera certainement vers les solutions (1+3), (1+5), (2). On retiendra donc comme coût moyen d'un renforcement 7 500 € TTC/ml.

La stabilité de la carapace de la digue est très affectée par les scénarios d'augmentation du niveau de la mer. **Lors d'une augmentation du niveau de la mer de 2 m**, seul scénario présenté ci-après, pour toutes les conditions sauf pour les périodes de retour de 20, 40 et 100 ans l'ouvrage atteint le stade de ruine. La stratégie est clairement de renforcer l'ouvrage en place ou de construire un ouvrage nouveau pour résister à un tel scénario (stratégie du redimensionnement).

Aux dommages aux ouvrages viennent s'ajouter les dommages aux biens situés en zones inondées.

Les informations récoltées sur le prix moyen d'un bâti au m² nous ont permis d'établir une liste des valeurs pour plusieurs types de bâtiments qui permettent de calculer l'endommagement des bâtiments inondés en fonction du niveau d'eau.

Si le maître d'ouvrage est sensibilisé à cette problématique et agit en conséquence, il se dirigera vers deux solutions :

- Supprimer l'ouvrage existant et en construire un nouveau répondant aux nouvelles sollicitations. Celui-ci sera dimensionné pour avoir des dommages quasi-nuls et des franchissements limités. Le coût est estimé à 30 000 € HT/ml et les dégâts matériels dus aux franchissements/surverses sont considérés comme nuls ;
- Renforcer l'ouvrage existant. En effet, celui-ci permettra un gain de stabilité et une meilleure performance hydraulique (débit de l'ordre de grandeur de la situation initiale). Il pourrait s'agir soit d'un bassin de déversement, soit d'une berme associée à un mur de couronnement, soit d'une seconde couche d'enrochements plus stable avec un mur de couronnement.

Il faut aussi étudier la stratégie du laisser-faire, qui revient dans le principe des coûts annualisés à reconstruire l'ouvrage à l'identique et à supporter les coûts des dégâts matériels en arrière de la digue.

Tableau 6. Comparaison des coûts de trois stratégies pour une ENM de 2 m.

Stratégies	Scénarios - Période de retours (ans)												Coûts annualisés
	20	40	100	111	125	143	167	200	250	333	500	1000	
Stratégies du laisser-faire (dégâts matériels dus aux surverses) Coûts en MEuros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,7	15	27,1	0,050
Stratégies du laisser-faire (dommages à l'ouvrage) Coûts en MEuros	2	2	2	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0,222
Total de la stratégie du laisser-faire	0,272 Millions d'Euros ans												
Total de la stratégie du nouvel ouvrage (avec coût du nouvel ouvrage - 24MEuros)	0,024 Millions d'Euros ans												
Stratégie du renforcement (dégâts matériels dus aux surverses) Coûts en MEuros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,10	3,12	0,003
Total de la stratégie de renforcement (avec coût du renforcement de l'ouvrage - 6MEuros)	0,009 Millions d'Euros ans												

Conclusions et perspectives

Le projet a mis en évidence l'intérêt de disposer d'une base de données des probabilités conjointes houle – niveau sur le littoral français. Cette base de données peut être issue soit de mesures de houle soit de reconstitutions des états de mer (projet ANEMOC) associées à des mesures marégraphiques (base RONIM). Elle doit être complétée par une extrapolation de ces probabilités conjointes pour les événements rares qui doit être validée et automatisée.

Une méthode a été développée pour sélectionner la solution de renforcement d'un ouvrage la plus économique. Cette méthode doit être implémentée dans un outil informatique afin de proposer un système expert pour les maîtres d'ouvrage. Contrairement au système expert « EXPORT » développé au début des années 1990 qui n'a pas connu une grande utilisation du fait du faible nombre de constructions d'ouvrages neufs sur le littoral français, il s'agit ici d'un outil destiné au renforcement d'ouvrages anciens. Cet outil dans le cadre de la remontée du niveau moyen de la mer intéressera une grande partie des gestionnaires d'infrastructures maritimes.

Les essais en laboratoire menés dans le cadre du projet SAO POLO ont permis de déterminer de manière qualitative les solutions de renforcement les plus prometteuses. Ces essais n'ont pas permis en revanche de déterminer de nouvelles formules de dimensionnement (en ce qui concerne notamment la stabilité de la carapace, la stabilité du mur de couronnement ou bien les franchissements). On s'aperçoit notamment qu'il y a une interaction non négligeable entre renforcement des superstructures et stabilité et, inversement, entre renforcement de la carapace et franchissements. Ces problématiques ont été peu étudiées dans la littérature.

L'approche du projet SAO POLO a consisté à examiner non seulement l'ouvrage mais aussi l'ouvrage dans un système de danger. Le danger se situe en effet à plusieurs échelles (l'échelle de l'ouvrage, l'échelle de la zone directement protégée par l'ouvrage, l'échelle de la zone impactée par le risque de submersion). Cette dernière échelle est, pour le cas du Havre, la zone industrialo – portuaire. Adoptant une méthodologie générale sur les risques (industriels ou naturels) afin d'examiner le danger, il s'agit de déterminer la source de danger, les flux primaires ou secondaires de danger et les conséquences sur les cibles. La Méthode d'Analyse du Dysfonctionnement du Système (MADS) ou la méthode, plus connue à l'étranger, Source Pathway Receptor Consequences (SPRC) sont très similaires. Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont des éléments déterminant pour les flux. Il est donc possible de développer ce type de méthode à l'échelle de la zone industrialo-portuaire du Havre afin d'examiner simultanément l'ensemble des solutions de renforcement à mettre en œuvre.

Sur le quartier Malraux, la stratégie de renforcement devient plus intéressante économiquement que la stratégie du laisser-faire à partir d'une ENM de 1 m et le confortement (ajout seulement d'une nouvelle couche d'enrochements) à partir d'une ENM de 0,5 m. La stratégie du repli n'est à envisager quant à elle que très localement.

Acquis en termes de transfert

Sélection du renforcement

Une procédure est proposée pour définir le renforcement le plus économique. Ce travail a bénéficié des apports du projet européen, toujours en cours, THE-SEUS du 7^{ème} Programme Cadre notamment de Hans Burcharth de l'Université d'Aalborg (Danemark). Le CETMEF est en charge, dans ce projet, de la tâche relative au renforcement des ouvrages. Cette procédure comporte dix étapes :

1. définir la durée de service de l'ouvrage,
2. définir les contraintes géométriques et environnementales,
3. définir les statistiques conjointes futures de houle au large et de niveau des hautes eaux,
4. à partir de la houle au large déterminer la houle au pied de l'ouvrage,
5. définir les critères de performance de la structure renforcée,
6. déterminer les faiblesses de l'ouvrage vis-à-vis des critères de performance,
7. dimensionner le renforcement de l'ouvrage,
8. pour chaque alternative calculer le coût de construction du renforcement,
9. pour chaque alternative calculer le coût des dommages à l'ouvrage,
10. sélection du dimensionnement le plus économique durant la vie de l'ouvrage parmi les alternatives.

Le dimensionnement du renforcement (étape 7) consiste à se donner la probabilité d'occurrence attendue p_i de l'impact N° i sur la durée de service (N années) et à définir la période de retour attendue de cet évènement (M_i années). Cette méthode est basée sur une approche probabiliste de type période de retour de l'impact sur l'ouvrage. Elle est différente de la méthode classique qui consiste à choisir un évènement historique de référence ou à reconstituer l'aléa le plus préjudiciable pour les dimensionnements structurels ou les niveaux limites d'urbanisation des plans de prévention des risques.

Le premier type d'impact concerne les débits spécifiques de franchissement et leur probabilité associée pour plusieurs scénarios de dimensionnement : états limites ultimes et états limites de service. Le second type d'impact est relatif à la stabilité de la structure : les niveaux de dommages et leur probabilité associée. Les types de dommages sont les suivants : déplacement des enrochements de butée de pied, crête, de couche avant ou arrière, glissement, basculement ou rupture du mur de couronnement, stabilité globale géotechnique et tassements.

Les alternatives de construction sont les suivantes :

1. parapet (ou mur de couronnement droit),
2. béquet,
3. bassin réservoir avant,
4. structure détachée,
5. berme attachée,
6. réduction de la pente de la couche d'enrochement extérieure,
7. couche supplémentaire d'enrochements,
8. solutions (5-6-7) + parapet ou béquet.

Les alternatives (1-2-3) sont conseillées pour les ouvrages imperméables et les alternatives mixtes (8) pour les digues à talus en enrochements.

Sélection de la stratégie de défense

Comme précédemment une méthode en 8 étapes, précisées ci-dessous, est proposée pour définir la stratégie de défense la plus économique.

1. Une méthode de recensement des enjeux basée sur l'approche par entités de bien est adoptée pour caractériser la majorité des enjeux physiques vulnérables aux inondations, et notamment les bâtiments publics et privés.
2. Les cartes d'aléa sont croisées avec celle des enjeux sur les différentes zones pour analyser les niveaux de risque à partir de la hauteur d'eau.
3. La formule suivante du taux (ou %) d'endommagement à l'étage est choisie : $E_e = 5,68 H + 16,45$ (%) Source (Torterotot, 1993 ; Christophe, 2008) où H représente la hauteur d'eau au niveau du bâtiment, estimé grâce au géo-référencement du bâtiment, la connaissance du MNT et la cote de l'eau du scénario considéré.
4. Après l'étape d'évaluation du pourcentage d'endommagement par bâtiment selon chaque scénario d'inondation, le calcul du coût économique du dommage est réalisé selon la formule suivante : $CE = E_e \times S_e \times C_s$ avec CE = coût du dommage pour un bâtiment, E_e = taux d'endommagement au bâtiment, S_e = surface du bâtiment au sol (calculée à partir de la hauteur du bâtiment et de la surface totale) et C_s : coût du m² du bâtiment.
5. L'évaluation du prix moyen d'un bâti au m² est l'étape qui permet de connaître la valeur des biens concernés par la submersion en termes monétaires (évaluation de C_s).
6. Les scénarios finaux proposés pour une étude économique et la comparaison des stratégies d'adaptation sont les suivants chronologiquement en fonction de la sévérité du changement climatique : le laisser-faire (coût des dommages à l'ouvrage + coût des dommages aux biens) ; le renforcement de l'ouvrage (coût du renforcement + coût des dommages à l'ouvrage + coût des dommages aux biens) ; le redimensionnement de l'ouvrage (coût de la reconstruction + coût des dommages à l'ouvrage + coût des dommages aux biens) ; le repli stratégique (coût du repli + coût de dommages aux biens). En ce qui concerne le repli, une seconde ligne de défense peut être créée avec des coûts de dommages à l'ouvrage associés.
7. Le principe de l'annualisation des coûts est utilisé pour comparer les stratégies.
8. L'étude économique proposée n'est pas suffisante lorsque la sécurité est

mise en jeu. De manière générale, d'autres critères de décision entrent en jeu : les coûts économiques indirects ; la sécurité ; l'acceptabilité ; l'environnement ; etc. Une approche multicritère est ainsi parfois nécessaire.

Tableau 7. Synthèse schématique de la gamme de coût selon de la stratégie de défense.

Méthodologie		Lâcher d'eau	Renforcement	Refaçonnements	Repli
Domages aux ouvrages	1) Coût de la base 2) Domage à la rempart 3) Domage au socle 4) Amortissement du site	fort	moyen	faible	faible
Domages aux biens	1) Coût des volumes 2) Hauteur d'eau des ouvrages 3) Domage aux biens 4) Amortissement du site	fort	moyen	faible	faible
Coût de renforcement / reconstruction	1) Coût de renforcement ou 2) Refaçonnements 3) Coût des sites 4) Amortissement du site		moyen	fort	
Coût du repli	1) Coût de la zone de repli 2) Coût des sites 3) Amortissement du site				fort
Stratégie à privilégier sur le quartier Malraux en fonction de l'élévation du niveau moyen de la mer		0 - 1 m	1 - 2 m	> 2 m	> 2 m

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques

Ben Abdallah N., Mouhous-Voyneau N., Denoeux T., sous *presse*. Combining statistical and expert evidence using belief functions: Application to centennial sea level estimation taking into account climate change, *International Journal of Approximate Reasoning*.

Participations aux colloques nationaux ou internationaux

Ben Abdallah N., Denoeux T., Mouhous-Voyneau N., 2012. Combining statistical and expert evidence within the belief functions framework. Application in coastal design under uncertain climate change. In: *World congress on computational Mechanics*, Sao Paulo, 8-13 juillet 2012.

Ben Abdallah N., Mouhous-Voyneau N., Denoeux T., 2012. La théorie de Dempster Shafer pour combiner l'évidence statistique et les avis d'experts dans l'estimation du niveau de retour marin futur. In : *Congrès SHF : « Evènements extrêmes fluviaux et maritimes »*, Paris, 1^{er} -2 février 2012

Mattarolo G., 2012. Etude par essais physiques de solutions de renforcement des digues. In : *Séminaire du Groupement d'Intérêt Scientifique Hydraulique pour l'Environnement et le Développement Durable (GIS HED)*, Paris, 3-5 décembre 2012.

Morel G., N'Diaye F., Prévot G., 2012. Adaptation strategy to climate change and decision support: a cost-benefit approach for coastal cities prone to submersion. In: *11th Urban Environment Symposium - Urban Futures for a Sustainable World*, Karlsruhe, Allemagne 16-19 septembre 2012.

Nguyen D.T., Brossard J., 2012. Renforcements de digues maritimes vis-à-vis de la remontée du niveau des mers. In : *Séminaire du Groupement d'Intérêt Scientifique Hydraulique pour l'Environnement et le Développement Durable (GIS HED)*, Paris, 3-5 décembre 2012.

Prévot G., Kergadallan X., Sergent P., 2012. Evolution des périodes de retour des évènements franchissants avec le changement climatique. In : *Congrès SHF « Evènements extrêmes fluviaux et maritimes »*, Paris, 1er - 2 février 2012.

Prévot G., Kergadallan X., Sergent P., 2012. Influence de la remontée du niveau de la mer sur les franchissements des ouvrages maritimes selon trois approches. In : *les 12^{èmes} Journées Nationales Génie Civil Génie Côtier*, Cherbourg, 12 -14 juin 2012.

Prévot G., Sergent P., Trmal C., 2010. Adaptation des ouvrages de protection marine vis-à-vis de la montée du niveau des mers et des océans. In : *les 8^{èmes} Journées Scientifiques et Techniques du CETMEF*, Brest, 9-10 décembre 2012.

Sergent P., Prévot G., Guillou N., Luck M., Benoit M., Ropert F., Bouttes F., Kergadallan X., Trichet J.J., Brossard J., Nguyen D.T., Mattarolo G., Delisle J-G., Menon J-M., Morel G., Mar N-F., Mallet P., Voyneau N., Lam M., Le Banner G., 2013. Projet SAO POLO, Adaptation des structures côtières au changement climatique. In : *Colloque Technique « Digues maritimes et fluviales de protection contre les submersions »*, Aix-en-Provence, 12 -14 juin 2013, MEDDE CFBR Irstea.

Sergent P., Prévot G., Kergadallan X., 2012. Projet SAO POLO – Adaptation des structures côtières au changement climatique. In : *Séminaire du Groupement d'Intérêt Scientifique Hydraulique pour l'Environnement et le Développement Durable (GIS HED)*, Paris, 3-5 décembre 2012.

Sergent P., Prévot G., Trmal C., 2010. Renforcement des ouvrages situés en faibles profondeurs vis-à-vis de la montée du niveau des mers. In : *JICCRIC*, Orléans, 15- 16 novembre 2012.

Rapports de fin d'étude

Nguyen D.T., 2012. Stabilité et franchissement des digues maritimes, thèse de doctorat. Université du Havre, Le Havre, 185 p.

Christophe, 2008. Vulnérabilité de la communauté urbaine de Strasbourg aux inondations de la Bruche et de l'Ill : estimation économique du coût des inondations, mémoire de fin d'études, ENGEES, Strasbourg, 102 p.

Communications dans les médias

Un programme pour mieux protéger les zones côtières – Interview de Philippe Sergent au Figaro – le 5 mai 2010.

Expertises

Xynthia : une culture du risque pour éviter de nouveaux drames – Audition au Sénat de Philippe Sergent – le 7 juillet 2010.

L'Office des Risques Majeurs de l'Estuaire de la Seine (ORMES) lance une étude à partir de septembre 2012 sur l'évaluation du risque submersion dans l'estuaire de la Seine à laquelle certains partenaires du projet SAO POLO seront associés. Cette étude associera également le GIP Seine Aval ainsi que le Port du Havre (en cours).

ADAPTALITT - CAPACITÉS D'ADAPTATION DES SOCIÉTÉS LITTORALES AUX RISQUES D'ÉROSION-SUBMERSION EN PRISE AVEC LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Aspects administratifs et objectifs de la recherche

Aspects administratifs

Date d'engagement : 7 février 2010

Montant du budget : 331 564 € TTC dont 181 757 € TTC de subvention de l'ADEME

Coordinateur

Anne Tricot, ingénieure de recherche CNRS, UMR PACTE, 5194.

Partenaires

Jacques Lolive, Guillaume Gourgues, Thierry Bontems – UMR PACTE
Catherine Meur-Ferec, Alan Henaff, Yannick Lageat, Iwan Leberre, Laurence David, Véronique Cuq – UMR GEOMER

Jean-Paul Thibaud, Rachel Thomas, Nicolas Tixier, Martine Leroux, Magali Paris – UMR CRESSON

Ferenc Fodor, Valérie Brunetiere – UMR CERSES

Marc Breviglieri – GSPM EHESS

Mots-clés : vulnérabilité, adaptation, risques, milieux, érosion, submersion, changements climatiques, littoral, artificialisation, sensible, interdisciplinarité, recherche participative

Objectifs de la recherche

Cette recherche a constitué une analyse de la vulnérabilité et des capacités d'action et d'adaptation de sociétés littorales potentiellement exposées aux risques d'érosion et de submersion dans la perspective des changements climatiques. Pour rendre compte de la vulnérabilité de sociétés littorales, la recherche s'est organisée en deux modules principaux : une analyse des aléas et une analyse de la perception. S'appuyant sur des approches relatives à la vulnérabilité entendue comme exposition aux aléas mais aussi comme capacité d'action (résilience), cette recherche entend aller un peu plus loin en proposant d'y intégrer la perspective habitante par l'analyse des perceptions mais aussi des

attaches sensibles que ces derniers entretiennent avec leurs milieux de vie. En privilégiant l'approche par un milieu spécifique, la frange côtière, la recherche vise également à rendre compte d'une approche pluridisciplinaire intégrée. ADAPTALITT réunit différentes sensibilités disciplinaires : géomorphologie, géographie, sociologie, linguistique et science politique, elle s'appuie sur les acquis des équipes en matière de recherches consacrées à l'aléa et à la vulnérabilité aux risques.

Présentation des travaux

Introduction

De la terre à la mer...

Les espaces littoraux comme leur nom l'indiquent, constituent des lieux d'interface entre mer et continent. Zone de contact entre terre et eau, le regard qu'on y porte dépend largement d'où l'on se situe. Depuis la terre on redoute que les littoraux reculent du fait du réchauffement climatique. Depuis la mer, on constate que le niveau varie, a varié et variera sans doute à l'avenir. Marqués par l'ambivalence, entre aménité et risques côtiers ces « espaces de l'eau », constituent des lieux historiquement rattachés à la formation de l'urbain et continuent de l'être toujours davantage. Anciens « territoires du vide » (Corbin, 1988), autrefois considérés comme hostiles ils ne cessent aujourd'hui d'attirer une population grandissante. Ainsi de nombreux auteurs estiment à 60% la population mondiale vivant à moins de 60 km des côtes, d'autres ramènent la part de la population du globe vivant à moins de 15 km d'un rivage marin entre 15 et 20% toujours est-il que la manifestation la plus poussée de cette pression anthropique permanente est l'artificialisation et l'urbanisation des rivages (Robert S., 2012).

Cette pression urbaine s'est aussi accompagnée d'une croissance de la population résidant en zone à risque. Bord d'une voie d'eau, bord de mer, région au sol volcanique fertile, ont permis à de nombreuses villes de se développer à des emplacements facilement accessibles ou bénéficiant de ressources naturelles. Ceci conséquence de cela ? Ces emplacements géographiques sont souvent associés à une probabilité forte de catastrophe naturelle ou aux inondations, cyclones, éruptions volcaniques (ONERC, 2009) *etc.* Cette vulnérabilité aux accidents est aujourd'hui considérée comme susceptible de s'accroître dans une perspective de changement climatique. Si une part importante et grandissante de la population vit à proximité des zones littorales et notamment à risques (d'érosion, de submersions, objets de notre étude), « l'habiter » dans

l'espace littoral se résume-t-il à cette seule perspective ? Cette question qui semble tomber sous le sceau de l'évidence lorsque l'on se réfère aux statistiques mondiales, nationales n'a rien de commun si l'on s'intéresse à l'empreinte humaine, au génie du lieu ou aux ressources (tant individuelles que collectives) que l'homme a développé pour vivre et habiter ces espaces.

Comment la population littorale a-t-elle fait jusqu'ici avec le danger mais aussi avec la ressource apportée par l'eau ? Dans une certaine mesure, une première forme d'adaptation aux espaces littoraux ne fût-elle pas d'abord de les transformer – de les artificialiser intégralement ou partiellement ? Pour permettre la vie, le développement de l'agriculture, de l'urbain. L'artificialisation des espaces littoraux ou côtiers se traduisant par un gain de la terre sur la mer : partout où cela était possible, l'homme a gagné de la terre, fixé les espaces mouvants, réalisé des digues, des routes, des polders, il a bâti ... C'est une vision terrienne qui a primé où toujours il s'est agi de gagner sur les espaces dédiés à l'eau. En même temps qu'il construit, transforme, l'habitant s'attache aux éléments, aux événements, à la mer, à la terre et lutte inexorablement contre les événements, les éléments, la mer et la peur de perdre la terre... Un « faire face ou lutter contre », le gain de terre sur la mer, emblématique de ce que Michel Marié (1985) aurait nommé le paradigme moderne de l'aménagement ou de la pensée techniciste. Or dans quelles mesures ces modalités d'action sont-elles remises en question aujourd'hui par la perspective des changements climatiques ? Autrement dit, dans quelle mesure la perspective des changements climatiques si elle n'est pas perçue concrètement au niveau local, met-elle en doute – en trouble – (selon l'analyse de notre collègue Marc Breviglieri), les modalités de faire avec notre environnement, notre espace habité ? Annonce-t-elle un changement d'approche, si ce n'est de paradigme, dans notre façon de concevoir la planification et l'aménagement de nos territoires ? L'adaptation dans une perspective de changements climatiques remet-elle en question l'adaptation classique entendue comme artificialisation du milieu ?

Au fil de l'eau... ou... réfléchir sur nos modalités d'agir

En France, les politiques de risques ont longtemps été appréhendées de manière sectorielle, on rappellera que : la gestion des inondations relève pour les événements exceptionnels des pouvoirs de l'État et pour les inondations de type décennal des collectivités locales ; l'assainissement est traité séparément par rapport au ruissellement lequel se pense actuellement en dehors des politiques de prévention des inondations, *etc.* La question de l'adaptation au changement climatique est peut-être l'occasion de repenser ces découpages institutionnels et administratifs. De plus, l'adaptation pourrait impliquer un autre rapport au temps : celui d'une anticipation, d'un nouveau cadre d'action

et de réflexion pour la fabrique de la ville qui rencontre plus largement, celle d'une aspiration au bien-être dans des espaces fussent-ils en partie artificialisés. Tout se passe alors comme si l'avenir de la protection « contre » les risques passait désormais par une plus grande attention aux espaces « faisant de l'eau »¹. Les défenses structurelles relevant essentiellement de la réalisation d'ouvrages lourds contre les inondations, les submersions connaissent leurs limites tant économiques qu'écologiques. Par ailleurs ce que la société attend des défenses « contre la mer », de la présence de l'eau est en constante évolution. La question des changements climatiques est-elle alors l'occasion de percevoir des modifications significatives tant dans les pratiques institutionnelles que dans les attentes habitantes ?

Matériels et méthodes

Critères de choix des sites

Les sites d'étude ont été choisis sur la frange côtière bretonne nord et sud Finistère, espace emblématique des relations complexes que les sociétés entretiennent avec le milieu littoral, concerné à la fois par le recul des côtes vers les terres et la progression inverse des installations humaines vers la mer. Il était par ailleurs intéressant de choisir des sites emblématiques de la problématique érosion-submersion, soit parce qu'ils avaient récemment subi des dommages (tempête de mars 2008) ou en raison de leur exposition. Le choix précis de deux sites a été retenu : les communes de Gâvres et de Guisseny. Les critères présidant à ces choix sont les suivants :

- des sites littoraux connaissant une tendance à l'érosion-submersion (cordons dunaires étroits, falaises meubles, zones basses *etc.*) pouvant s'accélérer dans la perspective des changements climatiques ;
- des sites subissant des dommages récurrents mais aussi exceptionnels (tempête Johanna du 10 mars 2008) ;
- aux caractéristiques socio-démographiques variées : ruraux, urbains, habitants en résidence secondaire, principale *etc.* ;
- faisant l'objet de politiques de protection, de prévention contre les risques ;
- d'une appropriation et d'un fort attachement habitant ;
- de la présence de controverses relatives aux stratégies d'aménagement.

1 – Dans le domaine littoral, on notera par exemple les travaux relatifs à la GIZC (gestion intégrée des zones côtières) ouvrant de belles perspectives dans ce domaine. Lire, par exemple, H.R. Valette, P. Carbonnel, S. Roussel, L'apport de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) à la gestion de l'érosion côtière : intérêts et exemples en Méditerranée française, *Vertigo* 2006.

Les méthodes

1) L'utilisation de méthodes reflétant les appartenances disciplinaires de chaque équipe

Une étude des aléas

Menée par GEOMER, elle a combiné l'utilisation de la topographie fine (DGPS, tachéomètre, photogrammétrie et échanges de données avec acteurs locaux), une estimation des hauteurs d'eau maximales (marée prédite + surcote + agitation vagues et déferlement + hausse niveau marin GIEC), une étude diachronique trait de côte et usage des sols (géo-référencement et photo-interprétation), une intégration de documents de planification et d'usage des sols (Plan de Prévention des Risques, Plan Local d'Urbanisme, cadastre numérique), un croisement de toutes ces données dans un SIG (analyse intégrée, Le Berre *et al.*, 2012).

Une analyse des perceptions combinant plusieurs approches

- **Une analyse linguistique** et sémiologique de la formation des discours et des imaginaires permettant de rendre compte des modes de représentations dominantes de l'imaginaire de l'eau, des submersions et des changements climatiques (UMR CERSES : à partir de corpus constitués d'articles de presse et de documents de fiction).
- **Une analyse des ambiances** rendant compte des relations sensibles des habitants à leur environnement ou milieu de vie (UMR AMBIANCES : dérive photographique, visite guidée par l'habitant, réactivation photographique, « mot lâché », carnet de bord collectif).
- **Une analyse des controverses** pour comprendre les modalités d'actions collectives face aux phénomènes d'érosions, de submersions et aux changements climatiques (UMR PACTE : entretiens semi-directifs, observations collectives de débats et d'échanges, analyse des tempêtes Johanna 10 mars 2008 et Xynhtia 1^{er} mars 2010 et leur incidence sur les décisions nationales et locales en matière d'aménagement et de prévention des risques).

Pour rendre compte des modes d'actions collectives en situation d'incertitude face aux risques et aux changements climatiques, a été utilisée une analyse de controverses relatives aux procédures, circulaires, projets d'aménagements des collectivités. Elle permet d'analyser des positionnements et décisions respectifs de l'État et des collectivités locales en prenant comme repères deux dates principales, la tempête Johanna du 10 mars 2008 et la tempête Xynhtia du 1^{er} mars 2010.

2) L'expérimentation d'une recherche participative et interdisciplinaire chercheurs-habitants-acteurs

Outre les approches par équipes et disciplines, les chercheurs ont également expérimenté une recherche de type participatif visant à la fois une intégration des travaux et le recueil de données des perceptions habitantes en situation collective. Coordonné par PACTE, impliquant plusieurs équipes d'ADAPTALITT et une part significative de la population de Gâvres, cette expérimentation s'est déroulée les samedi 21 et dimanche 22 mai 2011 à Gâvres. Elle s'est appuyée sur la mobilisation de dispositifs précis conçus sous la forme de trois ateliers :

1. **un atelier « carte »** : une photographie aérienne à l'échelle de 1/1000^{ème} et tirée sur 24 m², disposée à même le sol, permet de recueillir les témoignages habitants relatifs à leur connaissance de l'espace et de ses transformations) animé par PACTE ;
2. **un atelier écriture par le CERSES** : recueil de témoignages habitants sur le sens qu'ils donnaient à l'érosion, l'inondation et les changements climatiques ;
3. **un atelier son animé par le CRESSON** : recueil des paroles habitantes sur leur expérience de « l'habiter dans les espaces à risques ».

Ces trois ateliers ont été complétés par la réalisation d'un débat public avec les habitants et les acteurs sur la base de la restitution des données recueillies la veille par les chercheurs lors des ateliers, expression collective des habitants notamment sur les risques et les protections à Gâvres.

Résultats

1) Une analyse de la vulnérabilité et de l'adaptation intégrant trois dimensions fondamentales : l'exposition des enjeux aux aléas, les modalités de perception de l'environnement et des risques, les modalités d'actions collectives face aux risques et aux changements climatiques

• L'exposition des enjeux aux aléas

En France, les fortes tempêtes de ces dernières décennies et leurs conséquences sur les littoraux ont conduit à mettre l'accent sur les liens de causalité pouvant exister entre le changement climatique et les évolutions actuelles des rivages soumis à l'érosion et à la submersion. Il paraît cependant nécessaire de remettre en perspective les dynamiques géomorphologiques côtières contemporaines dans le contexte de leurs évolutions sur le long terme. Quelques exemples

d'évolution de littoraux en Bretagne permettent ainsi de rappeler que la mobilité des rivages relève de processus agissant à différentes échelles de temps et d'espace, entre la transgression flandrienne² à l'origine de la mise en place des littoraux actuels, les évolutions historiques des lignes de rivage et les formes côtières soumises aux phénomènes météo-marins, aux bilans sédimentaires ainsi qu'aux interventions humaines. Aussi, en matière de gestion des risques côtiers, les conséquences envisagées du changement climatique apparaissent comme des facteurs aggravants sur des territoires déjà très vulnérables, en raison notamment de la multiplication des enjeux.

• Les modalités de perceptions de l'environnement et des risques

L'analyse des perceptions permet de rendre compte d'une part des modalités d'une perception située de l'environnement sous l'angle des éléments ; d'autre part des modalités de perception informée par les discours et les imaginaires. Le recours à la notion d'éléments permet de donner un visage concret aux phénomènes climatiques : que l'on pense à l'imaginaire de la submersion (eau) ou au changement climatique (air) ce sont bien les éléments qui constituent les manifestations les plus tangibles des processus en cours. Une telle approche permet de problématiser la « nature » (ou l'environnement...) sans dissocier la matière de la qualité, la substance de l'expérience. De manière complémentaire, l'analyse linguistique et sémiologique permet de rendre compte de notre perception informée par un environnement plus lointain, celui formé par les discours et les imaginaires. L'analyse des discours permet de caractériser nos représentations dominantes de l'eau, (eau douce/eau salée). L'idée d'élévation du niveau des océans et celle de phénomènes météorologiques imputables aux perturbations climatiques d'origine anthropiques constituent des thèmes fédérateurs. Le changement climatique se matérialise majoritairement dans des fictions relatives à des phénomènes météorologiques directement liés à l'eau (pluies interminables, tsunamis, cyclones, inondations) et plus rarement à travers la sécheresse et la désertification.

• Les modalités d'actions collectives face aux risques et aux changements climatiques

Entre les tempêtes Johanna (mars 2008) et Xynthia (mars 2010) s'écoulent seulement deux ans, or, leurs effets mais aussi l'attention que leur accordent les acteurs publics soulignent désormais une prise en compte de l'adaptation aux changements climatiques dans les outils de la prévention : qu'il s'agisse des plans de prévention des risques ou des schémas de prévention des risques litto-

2 – Transgression flandrienne : remontée du niveau marin (d'environ 100 m) liée à une période de réchauffement climatique au Pleistocène récent (17 000 à 10 000 ans avant aujourd'hui), à la suite de la dernière glaciation du Quaternaire, le Würm.

raux qui constituent une innovation au sens où les risques sont désormais pris en charge sous l'angle de bassins de risques. Par ailleurs, les politiques d'adaptation remettent en question les politiques de protection confortant l'artificialisation des milieux. Cependant et malgré cette conscientisation croissante des enjeux relatifs aux changements climatiques dans les procédures, demeure une ambivalence des collectivités littorales entre prise en compte des risques et accélération de l'urbanisation dans ces espaces à risques.

2) Enseignements de la recherche participative : la compétence habitante

L'habitant est un sujet attaché à son milieu de vie, son mode d'habiter se situe entre mobilité et enracinement. Les rencontres par ateliers entre chercheurs et habitants ont permis de cerner quelques points centraux d'une compétence habitante : a) La compétence habitante à connaître les changements de son environnement à partir de traces dans l'espace, une connaissance bâtie sur l'expérience sur un temps continu. L'ensemble montre une société littorale sur le qui-vive attentive aux signaux à bas bruit tel que le déplacement, voire la disparition, du sable ; elle renvoie par ailleurs à une vigilance à la direction des vents et la formation des houles. b) « L'habiter » dans les espaces à risques ne se réduit pas à la seule perspective de la catastrophe, il se décline selon plusieurs modalités : le faire face, le faire avec, le faire ensemble.

L'articulation des ateliers avec le débat public a permis à la population d'exprimer ses attentes, mais aussi ses craintes et ses critiques vis-à-vis des actions de la collectivité publique face aux risques : ce qui ne ressortait pas forcément dans les entretiens individuels. De plus ce débat collectif a permis de faire ressortir un infléchissement : les solutions de protection de type enrochements et épis ne semblent plus remporter l'unanimité, y compris chez les habitants.

3) Enseignements sur l'interdisciplinarité : des modes d'existence des changements climatiques

Pour rendre compte de l'interdisciplinarité, nous avons proposé la notion de modes d'existence³ (Souriau, 2009 et Lolive, 2010) qui pourrait se décliner en deux acceptions :

1. La première concerne les modalités d'existence liées aux ontologies ou aux « régimes de vérité » pour reprendre un terme Foucauldien : on pourrait

3 – Jacques Lolive a proposé d'utiliser cette notion pour qualifier le mode d'existence plausible du changement climatique par opposition au mode d'existence objectif dans le rapport intermédiaire d'ADAPTALITT de février 2011 après avoir lu un article de Bruno Latour

distinguer notamment le plausible, l'imaginaire, l'objectif et le sensible. Par exemple, les contributions des équipes d'ADAPTALITT permettent de caractériser différents régimes ou modes d'existence des manifestations du changement climatique sur les côtes étudiées. Des modalités utilisant le ressort de la fiction où les liens se font sur le mode de l'imaginaire, c'est le **régime de la fiction** mobilisé par les linguistes du CERSSES. Des modalités basées sur le ressenti ordinaire, l'expression multi-sensorielle des corps immergés dans un environnement, c'est le **régime de l'ambiance** mobilisé par le CRESSON. Des modalités fondées sur les mesures et les modélisations des dynamiques géomorphologiques : c'est le **régime de la causalité** mobilisé par GEOMER. Des modalités d'existence en situation de controverses, c'est le **régime de la plausibilité** de PACTE. Ces différents modes d'existence obéissent chacun à des univers de sens différents (des régimes de vérité) qui ne s'ignorent d'ailleurs pas radicalement, au contraire, les cheminements y sont relativement subtils. Sans en avoir systématisé la démarche, nous espérons tout au long de ce travail avoir montré la porosité et les passages d'un « univers » à un autre

2. La seconde modalité épistémologique découle de la précédente, qu'elle spécifie. Il s'agit de distinguer **différentes** modalités de saisies et de fabrication de l'objet de recherche en référence aux cadrages disciplinaires existants. Dans ce cas la définition de l'objet de recherche et son mode d'existence sont liés aux postures de recherche des équipes et aux techniques utilisées pour le fabriquer. Par exemple, l'érosion sera saisie selon différentes modalités par chacune des équipes. L'érosion pour GEOMER existe par les mesures et les calculs ; l'érosion pour les linguistes existe dans les revues de presse ou dans les discours des gens ; l'érosion existe pour PACTE notamment sous une forme controversée dans les entretiens, la littérature technique, les articles scientifiques et les rapports ; l'érosion existe pour le CRESSON dans les propos contextuels des individus sous forme polysensorielle et aussi mobile.

Discussion : limites et enseignements d'ADAPTALITT

Le couplage aléa/perception a permis de mettre en contexte (environnemental et discursif) l'analyse de perception. Sur bien des points on peut remarquer la concordance des analyses relatives au pointage de lieux précis considérés

rédigé en 2006 qui était inédit en français mais était cependant disponible sur son site en ligne <http://www.bruno-latour.fr/sites/default/files/98-SOURIAU-FR.pdf>. Bruno Latour y présentait le livre d'Étienne Souriau paru en 1943 qu'il a depuis contribué à republier. Cf. Souriau E., (2009) *Les Différents modes d'existence*. Paris, PUF. Pour une autre utilisation de cette notion concernant les modes d'existence de l'environnement. Cf. Jacques Lolive, « Mobilisations environnementales », in Olivier Coutard, Jean-Pierre Lévy (dir.), *Écologies urbaines*, Paris, Economica (collection Villes), 2010, p. 276-302.

comme névralgiques ainsi que la manière dont les habitants perçoivent les phénomènes et changements de leur environnement. Nous aurions pu certes aller au-delà, par exemple en intégrant dans l'exercice de participation l'analyse des réactions de la population devant des simulations de remontée de niveau marin prévues pour 2100. Or, ce genre d'expérience n'ayant pas été prévue initialement et il n'a pas été possible, à ce niveau de la recherche qui ne durait que 24 mois, d'intégrer les connaissances habitantes dans ce type de projection. Il s'agit d'une limite dans la recherche ADAPTALITT qui pourra être comblée dans les travaux futurs des chercheurs.

Conclusion - perspectives : quid de l'adaptation des sociétés littorales aux changements climatiques ?

À l'appui des analyses que nous avons portées sur ces espaces littoraux, l'adaptation à un milieu historiquement considéré comme hostile (mais aussi nourricier), a consisté d'abord en une véritable stratégie de conquête de celui-ci. Assez classiquement c'est le milieu qui a été adapté par son artificialisation. L'ensemble formant aujourd'hui un paysage sensible et constitutif d'attaches habitantes. Dans cette première relation, l'artificialisation produit une situation à risques, d'érosion, de submersion qui en appelle alors à un ensemble d'actions collectives : d'abord essentiellement conçu comme une protection (réalisation d'ouvrages de défense), puis une prévention (zonages).

L'action collective de réponse à ces risques se caractérise par une forme de résilience : la résilience consiste ici en une réponse à une situation donnée, où les risques sont localisés, même s'ils revêtent des formes catastrophiques, ils ont été relativement éprouvés dans le passé. Cependant cette forme d'adaptation à une situation, un milieu et ses événements ou perturbations, peut produire une inadaptation à une autre situation. La résilience n'est pas forcément synonyme d'adaptation dans une perspective de changements climatiques.

Dans une perspective de changements climatiques et dans le contexte des espaces littoraux, très urbanisés, à quoi s'adapter ? Nous avons déjà un exemple de cette adaptation passive par l'exil climatique mais ce n'est pas le cas dans les pays occidentaux. Nous avons également d'autres exemples au Québec où sont mises en place des politiques de retrait. Pour éviter ce déchirement, les formes de préconisations actuelles évoluent vers une mise en place d'outils de prévention tels que les zonages interdisant à terme l'urbanisation de zones à risques et potentiellement exposées aux risques liés aux changements climatiques, il reste que la précision de ces outils doit être grandement améliorée.

On comprend que dans cette perspective, l'adaptation des populations littorales aux changements climatiques qui consisterait pour une partie d'entre elles

à quitter purement et simplement leur espace de vie ne semble guère envisageable (ou acceptable par ces dernières) ; pas plus que la perception future de ces espaces comme pouvant être régulièrement submergés voire engloutis. On ne saurait conclure pour autant qu'il s'agit « d'espaces sacrificiels » qui ne méritent plus qu'on intervienne puisque appelés à disparaître. Une des voies possibles semble être la réintroduction des espaces liés à l'eau (lagunes, marais, zones tampons), qui constituent actuellement des expérimentations éprouvées par exemple dans le cadre des approches en termes de GIZC. Cependant, nous avons mis en évidence la réticence des populations locales, littorales (Gâvres) à penser que leur espace redevienne une île, il semble alors que pour l'avenir, on ait également à travailler sur les images projetées pour s'adapter. Que Gâvres puisse redevenir une île, est une forme de futur possible or actuellement la population, pas plus que les collectivités locales, ne semblent pouvoir ou vouloir envisager cette hypothèse : c'est d'abord l'option de maintien sur l'espace ainsi fixé qui est retenu. Pour Guisseny, le risque est plutôt situé sur la partie basse de la commune, pour l'instant la collectivité locale s'en tient à une limitation de l'urbanisation dans ces espaces en utilisant le ressort du risque de pollution. Pour les deux communes par ailleurs, la tentation est grande encore de vouloir continuer à urbaniser. On ne saurait alors parler d'adaptation, pour l'instant du moins, aux changements climatiques pour les communes que nous avons étudiées.

Acquis en termes de transfert

Des incertitudes relatives aux effets du réchauffement climatique sur les tempêtes aux échelles régionales où de fortes disparités se font jour

Finalement, en matière d'aménagement des littoraux, l'incertitude pour l'avenir, notamment celle liée à la fréquence des tempêtes, risque de paralyser l'action ou, au contraire, de la précipiter. Pourtant, les manuels de géomorphologie, depuis les années 1950 (Guilcher, 1954), n'ont jamais manqué de souligner qu'une des caractéristiques fondamentales des milieux côtiers est leur permanente mobilité, entre quelques heures et plusieurs dizaines de milliers d'années. Le moindre des principes de précaution aurait consisté à ne point s'installer de façon statique sur des côtes par nature dynamiques, à plus forte raison quand elles sont meubles, basses et exposées aux tempêtes. Pourtant, faute d'avoir été suffisamment assimilées, ces simples vérités n'ont manifestement pas été entendues, et il faut aujourd'hui gérer les « coups partis » (Pinot, 1998) que sont les constructions installées sur des secteurs à très fort aléa qui

engendrent des risques et soulèvent les plus grandes difficultés en matière de gestion du trait de côte.

En matière de recherche, une attitude pragmatique consiste, tout en continuant à affiner les modèles, à se fonder sur les données connues – et donc extraites du passé – en analysant *a posteriori* les impacts géomorphologiques d'un événement tempétueux, comme Johanna, dont les paramètres de forçage sont connus (Suanez, 2010; Cariolet, 2011). Une telle approche, si elle n'est pas prédictive, livre des enseignements précieux sur les conséquences prévisibles des aléas futurs.

Si après Xynthia, l'objectif principal est bien sûr d'épargner les vies humaines, les coûts des dommages seront aussi probablement un moteur de choix à long terme : protection contre la mer d'enjeux ici, et repli ailleurs ? La question, récurrente, ne pourra être toujours éludée, surtout si les scénarios climatiques les plus pessimistes se réalisent. En attendant, l'amalgame entre érosion-submersion des côtes et changement climatique, largement relayé par les médias, contribue à semer la confusion, mais aussi, à l'inverse, à déresponsabiliser les décideurs qui ont favorisé ou toléré, dans le passé, l'urbanisation de secteurs exposés. Le changement climatique agit, par contre, comme un levier essentiel pour la planification, car sa seule évocation suffit à rappeler aux citoyens et aux élus que la côte était, est et demeurera un territoire à risques.

Intégrer les connaissances habitantes dans les pratiques de la recherche et de la décision pour réduire les incertitudes

Les compétences cognitives, expérientielles des habitants constituent le plus souvent un angle mort des politiques publiques. Or les populations littorales risquent d'être les premières à être touchées par les phénomènes accélérés d'érosion et de submersion des côtes. De plus, au vu des enjeux futurs on peut penser que les politiques publiques « climatiques » seront plus contraignantes quant aux pratiques en matière d'urbanisation et de prévention des risques. La non-prise en compte de cette expérience habitante risque d'aboutir à un rejet pur et simple des décisions.

La recherche participative a pu faire ressortir des modalités d'habiter les espaces à risques mais aussi une compétence habitante très fine relative à la perception de changements de l'environnement proche : l'habitant dispose d'une expérience de son milieu bâtie sur une expérience mais aussi une surveillance continue, au long cours de son espace de vie. L'intégration de données recueillies auprès des habitants peut permettre d'améliorer les travaux relatifs à la connaissance des impacts et des changements progressifs de l'environnement.

L'ensemble nécessite la présence d'observateurs sur place et sur le temps long, dimensions qui font défaut aux recherches de terrain. La mise en place de protocoles de mesures précis dans l'analyse des aléas et des vulnérabilités par les chercheurs, intégrant les habitants, voire les acteurs permettraient non seulement d'intégrer les connaissances habitantes mais aussi d'affiner les mesures sur le terrain.

Il sera intéressant dans une autre expérimentation de compléter la mise en place d'ateliers (écriture et carte) avec la présentation de modélisations (scénarios prospectifs sur l'élévation des niveaux marins) dans l'exercice participatif : ce type de démarche peut aider à mieux saisir les perceptions et à sensibiliser le public et les décideurs aux projections futures.

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis ou en préparation

Fodor F., 2012. Les jeunes face au changement climatique dans l'imaginaire romanesque. *Communication & langages*, 172, 83-95.

Lolive J., Tricot A., à paraître. Habiter l'espace public à l'ère de l'image : la vie politique des formes. In : *Medias Internet, Démocratie*, (A. Krasteva, G. Rouet, eds.), coll. Local et global, l'Harmattan.

Meur Ferec C., Henaff A., Lageat Y., Leberre I., à paraître. Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes : l'imbrication d'échelles spatio-temporelles, *Cybergeo*.

Tricot A., Lolive J., à paraître. Artificialisation, controverses et trajectoires d'actions contribution à ouvrage collectif. In : *L'adaptation au changement climatique : les défis d'une approche intégrée pour les territoires* (Rocher L., Bertrand F., eds), P.I.E. Peter Lang éditions.

Journées d'études et séminaires

Meur Ferec C., Tricot A., 2010. Présentation de la recherche ADAPTALITT. *Consortium ANCORIM (Atlantic network for coastal risks management)*, 6-7 octobre 2010, Lorient. Invitation de Cap L'Orient, communauté d'agglomération de Lorient.

Cuq V., Tricot A., 2010. Présentation de la recherche ADAPTALITT *Séminaire GICC-LITEAU*, 17-18 octobre 2010, Fréjus.

Gourgues G., 2012. Étudier la participation publique dans les politiques climatiques : proposition pour un « recadrage » de l'enjeu de l'adaptation. In : *Journée d'étude « Adaptation au changement climatique et politiques urbaines : approches comparées »*, 12-13 juin 2012, Lyon, Institut d'urbanisme de Lyon, Institut d'Urbanisme de Montréal.

Bibliographie

Cariolet J.-M., 2011. Inondation des côtes basses et risques associés en Bretagne. Vers une redéfinition des processus hydrodynamiques liés aux conditions météo-océaniques et des paramètres morpho-sédimentaires, thèse de doctorat, UBO, 347 p.

Corbin A., 1988. *Le territoire du vide, l'Occident et le désir de rivage, 1750-1840*. Flammarion, Paris, 407 p.

Guilcher A., 1954. *Morphologie littorale et sous-marine*. Collection Orbis, P.U.F., Paris, 213 p.

Lolive J., 2010. Mobilisations environnementales, In : *Écologies urbaines* (Olivier Coutard, Jean-Pierre Lévy, eds.), Economica, collection Villes, Paris, 276-302.

Le Berre I., David L., Henaff A., Meur-Ferec C., Cuq V., Lageat Y., 2012. Atlas des risques d'érosion – submersion ; contribution à l'étude de la vulnérabilité côtière des communes de Gâvres et Guissény. Rapport d'étude du projet Adaptalitt, GICC, Université de Bretagne Occidentale, 55 p.

ONERC, 2009. *Changement climatique, coûts des impacts et pistes d'adaptation*, La documentation française, Paris, 193 p.

Pinot J.-P., 1998. *La gestion du littoral. Tome I, Littoraux tempérés : côtes rocheuses et sableuses*. Institut océanographique, Paris, 400 p.

Robert S., 2012. Création d'un observatoire hommes-milieu (OHM), « littoral méditerranéen ». Note d'opportunité, [en ligne], 8 p, <http://www.cnrs.fr/inshs/recherche/docs-actualites/ohm-littoral.pdf> (consulté le 28 juin 2013).

Souriau E., 2009. *Les Différents modes d'existence*. Collection MétaphysiqueS, PUF, Paris, 220 p.

Suanez S., Cariolet J.-M. et Fichaut B., 2010. Monitoring of recent morphological changes of the dune of Vougot Beach (Brittany, France) using differential GPS. *Shore & Beach*, 78, 1, 37-47.

EXCLIM - GÉRER LES DÉPLACEMENTS DES POPULATIONS DUS AUX PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 21 septembre 2009

Montant du budget : 370 590 € TTC dont 243 234 € TTC de subventions du MEDDE

Coordinateurs

Chloé Vlassopoulou, Coordinatrice du projet, co-responsable scientifique
CURAPP, 10 Placette Lafleur

80 027 Amiens cedex 1

François Mancebo, co-responsable scientifique

PACTE, Institut de Géographie Alpine

BP 53

38 041 Grenoble cedex 9

Partenaires

Silvia Bruzzone – LEESU, Ecole des Ponts ParisTech

Christel Cournil – IRIS, Université Paris 13

François Gemenne – IDDR

Véronique Lassailly-Jacob – MIGRINTER, Université de Poitiers

Gulcin Lelandais – CITERES, Université de Tours

Dorothee Lobry – LARJ, Université du Littoral Côte d'Opale

David Mechin – HABITER, Université de Reims

Benoit Meyer – Université Nationale de Singapour

Malika Perraut – I.E.P. Paris

Jean-Luc Siméan – PACTE, Université de Grenoble

Mots-clés : migrations environnementales, migrations climatiques, crises climatiques, adaptation, vulnérabilité, politiques publiques, Organisations internationales et européennes, Burkina Faso, Flandre, Grèce, La Nouvelle Orléans, Maldives, Turquie.

Objectifs des recherches

Les objectifs de la recherche EXCLIM sont les suivants :

- examiner comment le problème global des migrations environnementales/climatiques est défini au sein des institutions internationales ;
- examiner comment la question des migrations est, ou pas, intégrée au niveau local soit comme stratégie spontanée d'adaptation, soit comme enjeu d'action publique ;
- étudier l'écart qui sépare l'adaptation et la gestion holistique des crises environnementales et climatiques de la réalité observée dans six terrains d'étude.

Présentation des travaux

Introduction

Le changement climatique est un problème mondial qui lie par excellence le destin de l'Homme avec celui de son milieu environnant. Il nécessite de ce fait une réflexion systémique seule capable de mettre en évidence l'interrelation et l'interdépendance entre la qualité de l'environnement et la vie humaine. La question du changement du climat planétaire impose en effet de rompre avec la coupure sociologique fréquente entre l'Homme et la nature. Elle nécessite de croiser les visions anthropocentrique et écocentrique afin de permettre une analyse, une compréhension et une gestion holistique de cet enjeu. Cette recherche place l'approche holistique au centre de l'analyse en s'interrogeant à la fois sur les interactions entre les populations et le milieu naturel et sur la capacité des institutions à développer des politiques transversales visant simultanément et de manière coordonnée la protection des hommes et celle de l'environnement.

Les mouvements migratoires, transfrontaliers ou locaux de populations dus à des dégradations causées par le changement climatique ne sont pas un scénario fictif d'un avenir lointain. S'ils se produisent à une échelle encore territorialement restreinte, ces mouvements rendent déjà vulnérables des communautés entières en obligeant les habitants à se déplacer de manière provisoire ou permanente en vue d'assurer leur survie. Sans attendre d'arriver aux estimations cataclysmiques évoquant des millions de réfugiés d'ici 2050, il est urgent d'étudier les mécanismes qui se mettent en place spontanément ou de manière programmée et qui permettent aux différentes sociétés touchées par ces crises d'y faire face. Si le changement du climat est d'ores et déjà inévitable selon les estimations du dernier rapport du GIEC, la systématisation de l'expérience du présent est plus qu'indispensable pour penser les politiques de demain.

Notre analyse s'effectue sur deux niveaux : global d'abord, où nous suivons l'évolution des débats internationaux portant sur la reconnaissance officielle du problème des migrations climatiques ; local, ensuite, où nous essayons de nous rendre compte de la façon dont les populations et les autorités publiques perçoivent, réagissent et s'adaptent face aux crises environnementales-climatiques ayant généré un déplacement de personnes plus ou moins important. À travers la confrontation de deux échelles d'action publique (national/local et international/européen) nous visons à apprécier l'impact que le débat et l'agenda supranational a sur le terrain. À travers la comparaison de six cas (Grèce, Turquie, Burkina Faso, Maldives, Etats-Unis et Flandre (qui sert de contre exemple d'adaptation pour anticiper la crise)) sur différents continents (nord américains, européen, africain, océanien) nous tentons de ressortir les éventuelles convergences entre les différents mécanismes d'adaptation et de gestion des crises.

Matériels et méthodes

Cette recherche porte à la fois sur le niveau international et local. Pour l'étude internationale nous nous sommes déplacés à Bruxelles (rencontres avec des agents de la Commission Européenne et des élus européens), ainsi qu'à Genève et New York pour rencontrer des agents des Nations Unies. Pour l'étude locale des voyages aux 6 sites retenus ont été réalisés (Flandre, Grèce, Turquie, La Nouvelle Orléans, Maldives, Burkina Faso). Le travail s'appuie sur deux outils d'analyse : l'analyse de la bibliographie scientifique et des documents et rapports internes aux administrations et associations, la réalisation d'entretiens semi-directifs. Le choix des personnes ressources a été fait stratégiquement sur la base des retours de lectures bibliographiques. Il a été choisi d'interroger des personnes de tous horizons ayant un lien direct ou indirect avec l'un des aspects de la thématique (migration, environnement, questions politiques et humanitaires) et œuvrant dans différents milieux (institutions locales, nationales, européenne et internationale, universités, experts, *think tank*, politiques, ministères, organisations non-gouvernementales).

Le plus souvent nous avons privilégié les entretiens directs mais selon nos contraintes géographiques ou matérielles, il a été décidé de procéder aussi à des entretiens téléphoniques et des entretiens écrits par retour de mail. Pour l'axe transversal, tous ces entretiens oraux, téléphoniques et écrits ont été menés sur la base du même guide de questions pour l'ensemble des interviewés. Pour les études de cas locales, le contenu des entretiens a varié en fonction du type d'interlocuteurs (institutionnels, associatifs, citoyens). Ces entretiens ont été réalisés pour l'essentiel en langues française ou anglaise et pour l'étude des cas grec et turque dans la langue du pays.

Résultats

L'analyse internationale et européenne s'intéresse à l'histoire de la construction de la problématique des migrations climatiques et environnementales, aux collaborations entre les experts et les agences internationales et européennes et aux propositions doctrinales qui en découlent, et à la place encore réduite au sein des programmes internationaux de prévention et d'atténuation des catastrophes et de secours d'urgence aux populations concernées. Différents acteurs institutionnels, collectivement ou individuellement, se sont emparés de la thématique des migrations environnementales et climatiques et l'ont pleinement **inscrite dans leur agenda de recherches en formulant les premières propositions d'actions politiques et juridiques**. Leurs approches divergent considérablement et dépendent de leur référentiel ainsi que de la position qu'ils occupent sur l'espace supranational. Nous observons ainsi par exemple, la concurrence qui émerge entre l'Organisation Internationale pour les Migrations (OIM) et le Haut Commissariat des Nations Unies pour les Réfugiés (HCR) dans la façon de conceptualiser les migrations en tant que conséquence du changement climatique et dans les formes de gouvernance qui sont proposées. Nous observons aussi les tergiversations des acteurs européens dans la prise en considération de cet enjeu et leurs écarts de positionnement : le volontarisme du Conseil de l'Europe contraste avec les difficultés institutionnelles et idéologiques de l'UE qui l'ont conduite à agir peu et tardivement sur la thématique. Néanmoins, par leurs débats et propositions divers, ces organisations **participent sans doute aux prémices de futurs aménagements des instruments juridiques** en vue de la protection des déplacés liés aux changements climatiques. Il n'en reste pas moins que les programmes internationaux de prévention et d'atténuation des catastrophes et de secours d'urgence aux populations, tout en reconnaissant la complexité des crises d'aujourd'hui, **ne sont pas arrivés à ce jour à pleinement intégrer la question migratoire** dans leur problématique.

En ce qui concerne la **capacité d'adaptation des sociétés** aux crises climatiques il importe d'analyser la vulnérabilité des régions étudiées et leurs perceptions et réactions face aux crises environnementales qui les touchent. La capacité d'adaptation explique qu'un territoire ou une société soit capable ou non de répondre aux perturbations qui surviennent et d'anticiper les perturbations futures. Dans ce sens **l'adaptation et la vulnérabilité semblent deux concepts profondément liés** au sens où si la capacité d'adaptation constitue une composante majeure de la vulnérabilité, le degré de vulnérabilité pose également un cadre dans lequel la capacité d'adaptation peut ou non se déployer. Pour analyser ce lien entre vulnérabilité et capacité d'adaptation, nous adoptons la grille d'analyse de A. Magnan (2009) en l'amendant pour pouvoir mieux rendre compte des observations issues de nos divers terrains. Elle a l'avantage

de permettre une **approche holistique du rapport entre les hommes et leur environnement**. Ainsi nous étudions successivement dans chaque cas **6 variables** :

- la configuration spatiale pour identifier les impacts attendus (ou en cours) du changement climatique au niveau régional, et leur forme spécifique selon le degré d'exposition au niveau micro-local ;
- la sensibilité environnementale qui renvoie aux conditions spécifiques du territoire, dépendantes des interactions entre l'Homme et le milieu, pouvant soit renforcer soit affaiblir la vulnérabilité du territoire face au risque ;
- la cohésion sociale qui permet d'apprécier le degré de solidarité entre individus en tant que facteur important de réduction de la vulnérabilité et de développement de mécanismes d'adaptation spontanée des populations ;
- la diversification économique dont la faiblesse peut créer une forte dépendance des populations aux ressources environnementales locales ;
- les conditions de vie qui renvoient à différents indicateurs pouvant être facteurs de vulnérabilité comme la densité de population, l'habitat, l'emploi, l'énergie ou les transports ;
- la sensibilisation et l'information des citoyens qui permet de comprendre dans quelle mesure le changement climatique est appréhendé par les populations comme une cause des crises vécues ou en évolution.

Nous constatons que toutes les zones étudiées sont fragilisées à des degrés divers par les modifications climatiques et que **la vulnérabilité naturelle s'accroît par le manque de sensibilité environnementale**. L'absence de connaissances de la part des populations quant aux impacts de leurs pratiques sur l'environnement génère un cercle vicieux de dégradation tant du milieu naturel que des conditions de vie. **Le changement climatique n'est pratiquement jamais évoqué comme une cause des crises vécues**, preuve de l'absence de sensibilisation et d'information des populations en la matière. Seule exception, les pays en développement où la présence d'institutions internationales comme le PNUD ou le PNUE ont permis la transmission de la thématique climatique auprès des autorités nationales et locales et des ONG travaillant sur le terrain. Dans ces conditions, lorsqu'une crise environnementale survient, **l'adaptation spontanée des victimes vise à répondre à l'urgence ignorant le long terme**, les causes de la crise et les risques d'un accroissement de la vulnérabilité future. La migration, à plus ou moins grande échelle, apparaît comme une des stratégies d'adaptation des gens qui se déplacent sans véritable plan de relocation durable.

Au-delà de la capacité d'adaptation des sociétés, **la capacité d'adaptation des institutions** à la complexité des crises climatiques a fait l'objet d'une analyse spécifique. Après avoir mis en cause l'idéal-type des institutions fonctionnant de manière rationnelle, nous constatons leur **rationalité limitée** qui engendre des difficultés de collaboration transversale (inter-sectorielle), des politiques publiques privilégiant le court-terme et des pratiques administratives qui empêchent le changement. En analysant les principaux travaux ayant porté sur le rôle des institutions dans la gestion du changement climatique et des crises qu'il génère, nous **sélectionnons la *holistic recovery approach* de J.L. Monday** (2002) comme cadre d'analyse de nos études de cas. À travers cinq variables, nous cherchons à comprendre l'écart qui sépare la réalité du terrain d'un processus de politique publique holistique qui vise non pas le simple retour à la situation d'avant catastrophe mais aborde une catastrophe (survenue ou potentielle) comme une « opportunité » pour un développement plus soutenable. Qu'il s'agisse de pays développés ou de pays en développement, de crises lentes ou soudaines, les institutions ne semblent pas s'adapter à la complexité grandissante des enjeux environnementaux auxquels elles sont amenées à faire face. **Le changement climatique reste pour la plupart d'entre elles une préoccupation globale de long terme qui contraste avec leur mode de fonctionnement sectorisé, routinier et de court terme.** Les principes de soutenabilité, formulés par Monday, dans un tel processus de politique publique, paraissent impossibles à respecter.

Discussion, conclusions et perspectives

Notre recherche nous a permis de constater que la question des migrations environnementales et climatiques demeure un enjeu en construction au niveau international dont la définition demeure encore floue. Cet enjeu n'arrivant pas à atteindre le niveau local, nous avons été amenés à élargir notre analyse à la façon dont les crises vécues ou en évolution sont perçues et gérées dans six contextes différents. Nous avons constaté que, dans la majorité des cas, le changement climatique ne sert ni aux populations ni aux autorités publiques de cadre d'interprétation de ces crises. Les citoyens s'adaptent spontanément en se considérant comme des victimes à protéger et jamais comme des auteurs ayant participé à la survenue des crises. Les autorités publiques gèrent ces crises à travers un cadre institutionnel inadapté à leur complexité.

Nous mettrons en discussion nos résultats par deux moyens : la publication d'un ouvrage collectif qui réunira les membres EXCLIM mais aussi des chercheurs extérieurs et l'organisation d'un colloque international à Paris en septembre 2013.

Acquis en termes de transfert

Les résultats obtenus peuvent servir en termes de transfert de connaissance de différentes façons :

Négociations internationales

Alors que les discussions pour le « post-Kyoto » sont en cours, il est important de s'intéresser à **l'architecture internationale de ces discussions**. Notre analyse permet de donner aux décideurs et gestionnaires un aperçu complet et simultanément synthétique du débat relatif à la question émergente des migrations environnementales/climatiques dans le cadre des négociations internationales. Ayant commencé depuis quelques années à occuper une place grandissante dans les articles de presse et dans les réunions formelles et informelles au niveau supranational, ce nouveau problème public oblige les autorités publiques nationales, invitées à y participer, à prendre position.

Acceptabilité sociale, culturelle et psychologique

Parallèlement, les décideurs ont besoin de connaître comment sont perçus par les différents groupes de population, les enjeux du changement climatique. En commençant par un aperçu des propriétés des systèmes étudiés (résilience, vulnérabilité), la recherche EXCLIM s'interroge sur **la perception qu'ont les populations des crises** qu'ils ont vécues ou qu'ils sont en train de vivre tant dans des pays développés que dans des pays en développement. En partant de l'hypothèse que la meilleure réponse aux problèmes générés par le changement climatique est celle qui est capable de prendre en considération l'interrelation et l'interdépendance entre la qualité de l'environnement et la vie humaine (holistique), nous examinons dans quelle mesure les gens se représentent ces crises en liaison avec la modification du climat et dans quelle mesure, ils vont au-delà de la posture de « victime » pour saisir leur rôle dans la survenue de ces crises. On s'interroge aussi sur **la façon dont l'information sur le changement climatique** est véhiculée et son impact sur la sensibilisation des gens et leur comportement.

Obstacles organisationnels et institutionnels

Les obstacles à une gestion efficace des enjeux du changement climatique ne sont pas seulement techniques ou financiers, ils sont également d'ordre institutionnel. Après avoir contesté le mythe des institutions fonctionnant de manière rationnelle en vue de satisfaire l'intérêt général, nous adoptons une approche plus réaliste reconnaissant **les limites des institutions à faire face**

à la complexité des problèmes environnementaux et climatiques. En observant la réalité du terrain, nous identifions une série de limites liées à la sectorisation de l'appareil d'État, au manque de temps qui amène les décideurs à agir dans le court terme, aux routines administratives qui font que l'on apporte à des problèmes nouveaux de vieilles réponses. Ces observations, qui concernent aussi bien les pays développés que les pays en développement, alimenteront la réflexion des décideurs sur **ce qui peut raisonnablement être évité et amélioré dans l'élaboration et la mise en œuvre des politiques de gestion des crises climatiques.** En particulier, il apparaît nécessaire de repenser les stratégies de gestion des crises en intégrant la dimension holistique du problème climatique. Pour cela, il est nécessaire d'assouplir les sectorisations administratives pour permettre la mise en place de structures transversales en mesure de gérer simultanément les impacts environnementaux et sociaux du changement climatique. Des politiques proactives d'adaptation doivent en outre accompagner les politiques réactives en se servant des incertitudes, non pas comme un frein, mais comme un moteur à l'action au nom du principe de précaution.

Liste des principales valorisations des recherches

Site Internet

Le site Internet du projet EXCLIM : www.reseau-terra.eu/exclim. Il est mis en ligne et sera enrichi au fur et à mesure de l'apport de nouvelles données. Ce site, outre la mise en ligne des travaux de l'équipe EXCLIM, permet de trouver des informations et des publications sur les migrations environnementales et climatiques et des liens vers d'autres sites permettent une connexion rapide vers d'autres thématiques connexes. À notre connaissance il n'y a pas d'autre site en langue française consacré à ce sujet.

Ouvrages publiés ou en préparation

Cournil Ch. et Vlassopoulou C., (eds.), *soumis*. *Mobilités et migrations environnementales*, Bibliothèque de l'Iris, La découverte, 450 p.

Cournil Ch. et Mayer B., *en préparation*, *Les migrations environnementales*, Presses Sciences Po, Bibliothèque du Citoyen, 120 p.

Cambrézy, L. et Lassailly-Jacob, V. (eds), 2010. Réfugiés climatiques, migrants environnementaux ou déplacés? *Revue Tiers-Monde*, [en ligne], 204, 4, 208 pages, <http://www.cairn.info/revue-tiers-monde-2010-4.htm> (consulté le 25 juin 2013).

Zaccai E., Gemenne F., Decroly J.-M. (eds.), 2012. *Controverses climatiques, sciences et politique*, Presses de Sciences Po., Paris, 254 p.

Tubiana L., Gemenne F., Magnan A., 2010. *Anticiper pour s'adapter. Le nouvel enjeu du changement climatique*. Pearson, Paris, 216 p.

Vlassopoulos C. (eds), 2013. Migrations climatiques, *Cultures & Conflit*, 88, 184 p.

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Bruzzone S., 2012. Climate change and re-organizing of land use. Flood control area as network effect, *International Journal of Urban and Regional Research*, doi: 10.1111/j.1468-2427.2012.01162.x.

Bruzzone S., *accepté*. From alert to anticipation: risk forecasting as knowing in practice, *Culture and Organization*.

Cournil Ch., *sous presse*. L'établissement du lien « droits de l'Homme et changements climatiques » au sein de la Communauté internationale à travers l'exemple des personnes déplacées. *In : Mobilités, migrations, développement, environnement: formes et gouvernances* (Véronique Ancey et Gérard Azoulay, eds), co-édition Bruylant – UNISA.

Cournil Ch., 2012. Les droits des « déplacés environnementaux », une nouvelle thématique à l'agenda international. *In : Changements climatiques et Droits humains* (Daniel Dormoy et Camille Kuyu, eds), Actes du colloque international de Dakar, 16-18 mai 2011, Dakar, Sénégal, 151-168, éditions Espérance.

Erdi Lelandais G., *soumis*, C'est une question de prestige. Le changement climatique comme politique publique en Turquie. *In : Mobilités et migrations environnementales* (Cournil Ch., C. Vlassopoulou, eds), Bibliothèque de l'Iris, La découverte.

Gemenne F., Brücker P., 2012. Developing Policy Responses to Address Environmental Migration in Asia and the Pacific. *In: Environmental Leadership. A Reference Handbook* (Gallagher, D.R., ed.), Sage, Thousand Oaks, Californie, USA, 838-846.

Gemenne F., Jäger J., Entzinger H., *soumis*. *Dynamics of Environmental Migration*. Palgrave Macmillan, Basingstoke, Royaume-Uni.

Lassailly-Jacob V., Desse M., 2010. Migrations et vulnérabilités différenciées face aux sécheresses (Sahel) et aux cyclones (littoraux antillais). *In : Migrations et écosystèmes. Les réfugiés de l'Environnement*, *Revue des Sciences Humaines et Sociales*, Université Mohamed V, Rabat, 52, 79-101.

Lassailly-Jacob V., 2010. Nouvelles dynamiques migratoires, *In* : n° thématique 1960-2010 : 50 ans d'indépendances africaines, *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 1, 26-39.

Mancebo F., *soumis*. Catastrophes et crises environnementales, enjeu émergent du développement durable, *Revue Géographique de l'Est*.

Mancebo F., 2008. Katrina : un aller-simple pour ailleurs. De l'exode à la migration. *In* : *Exodes écologiques : l'environnement source de migrations* (Vlassopoulou C. ed.), *Revue Asylon(s)*, [en ligne], 6 <<http://www.reseau-terra.eu/rubrique154.html>> (consulté le 27 juin 2013)

Mayer B., 2012. Sustainable Development Law on Environmental Migration: The story of an Obelisk, a Bag of Marbles and a Tapestry, *Environmental Law Review*, 14, 111-133.

Mayer B., 2011. Pour en finir avec la notion de « réfugiés environnementaux » : critique d'une approche individualiste et homogène des déplacements causés par des changements environnementaux, *Revue Internationale de Droit et Politique du Développement Durable*, 7, 33-58.

Mayer B., 2011. The International Legal Challenges of Climate-induced Migration: Proposal for an International Legal Framework, *Colorado Journal of International Environmental Law and Policy*, 22, 357-416.

Vlassopoulos C., à paraître. Defining environmental migration in the climate change era. Problem, consequence or solution?, *In: Disentangling Migration and Climate Change: Toward an analysis of Concepts, Methodologies, and Policies*, (Faist T., Shade J., eds.), Springer.

Vlassopoulos C., 2012. Competing definition of climate change and the post-Kyoto negotiations, *International Journal in Climate Change Strategies and Management*, 4, 1.

Colloques organisés

Tracing Social Inequalities in Environmentally-Induced Migration, 9-13 décembre 2012, European Science Foundation, University of Bielefeld, Center for Interdisciplinary Research (ZIF), Bielefeld, Germany.

Séminaire « Migrations climatiques », prévu le 12 septembre 2013, CIRAD, Paris.

Bibliographie

Magnan A., 2009. *La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique : mise au point conceptuelle et facteurs d'influence*, hypothèses de recherche, collection Analyses, IDDRI, Paris, 29 p.

Monday J.L., 2002. Building Back Better, Creating a Sustainable Community After Disaster. *Natural Hazards Informer*, [en ligne], 3, <<http://www.colorado.edu/hazards/publications/informer/infrmr3/informer3h.htm>> (consulté le 1^{er} juillet 2013).

ECCLAIRA - ÉVALUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, SES ADAPTATIONS ET IMPACTS EN RHÔNE-ALPES : PARTENARIAT OPÉRATIONNEL ENTRE ÉQUIPES DE RECHERCHE ET COLLECTIVITÉS TERRITORIALES

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects administratifs

Date d'engagement : 2009

Montant du budget : 240 000 € TTC dont 180 000 € TTC de subvention du MEDDE.

Cofinancements obtenus : Région Rhône-Alpes – Ademe – Certu- Agence de l'eau

Coordinateur

Pierrick Yalamas

Rhônealpenéergie-Environnement

pierrick.yalamas@raee.org

Partenaires

Jean-Luc Bertrand-Krajewski – INSAVALOR

Sylvain Bigot – LTHE, Université Joseph Fourier (Grenoble 1)

Sandra Rome – LTHE, Université Joseph Fourier (Grenoble 1)

Isabelle Pochelon – Conseil Général de la Drôme (Direction de l'Environnement)

Gérard Merlin – LOCIE, Université de Savoie

avec le soutien de Christophe Ménézo de la chaire INSA/EDF

Mots-clés : changement climatique, partenariat opérationnel collectivités/recherche, végétalisation, ressources en eau, outils méthodologiques

Objectifs des recherches

Par le biais d'un partenariat opérationnel entre les autorités locales et les équipes de recherche, les actions menées dans le cadre de ce projet visaient à aider les autorités locales à appréhender le changement climatique et à mettre en place une stratégie locale d'adaptation. Le projet comprenait deux démarches : la mise en place de deux expérimentations et l'édition d'un guide destiné aux

autorités locales. La première expérimentation consistait à étudier les impacts des toits et des murs végétalisés dans les zones urbaines avec deux questions principales : l'atténuation des pics de chaleur et la régulation de l'eau. La deuxième expérimentation (DECLIC - *Drôme : Eau, Climat et Impacts liés aux Changements*) portait sur l'étude de la variabilité hydroclimatique, pour évaluer les impacts des changements climatiques sur la gestion des ressources actuelles et futures du département, et plus spécifiquement sur les espaces de moyennes montagnes (Diois et Vercors). Il s'agissait d'analyser les impacts et perceptions du changement climatique sur les secteurs touristique et agricole.

Présentation des travaux

Introduction

Le changement climatique est aujourd'hui un fait avéré et reconnu par une large partie de la communauté internationale mais l'incertitude liée à l'ampleur de ce changement et de ces conséquences tend à limiter la mise en place de stratégies d'adaptation. Il est pourtant aujourd'hui nécessaire de s'adapter en identifiant les mesures à prendre localement dès maintenant. L'adaptation au changement climatique est de la responsabilité des collectivités territoriales ; il est de leur devoir d'agir. Elles n'ont cependant pas toujours les connaissances ni les moyens nécessaires pour la mise en oeuvre de stratégies d'adaptation et sont en demande, notamment, d'outils méthodologiques leur permettant d'intégrer la question climatique dans leurs projets d'aménagement et de développement.

La collectivité doit faire face à des enjeux urbains contemporains de santé publique (pollution, confort sanitaire), de gestion des conditions climatiques (orages courants, lutte contre l'îlot de chaleur urbain) mais aussi d'aménagement (imperméabilisation des eaux pluviales, acoustique), et de biodiversité. Les difficultés de la gestion des eaux urbaines (réseaux enterrés, place de la régulation hydraulique) invitent à une réflexion sur une intervention à la source sur les problématiques de rétention des eaux pluviales, d'espaces verts, de toitures et de régulation hydraulique. La résolution de ces questions techniques engage par ailleurs des réflexions plus larges sur des éléments tels que l'arrosage urbain, la ré-infiltration, l'assainissement, les eaux potables, la régulation thermique ou encore les espèces végétales.

Les variations de climat importantes ces cinquante dernières années, notamment dans la Drôme avec des particularités et contrastes locaux, ont eu des impacts sur la ressource en eau, avec des répercussions sur l'activité agricole et touristique. La collectivité a besoin d'éléments concrets de compréhension et de réponse au changement climatique ainsi que d'aides à la décision pour elle-même et en direction des organisations professionnelles agricoles, des agriculteurs, avec

notamment une réflexion sur les bâtiments, routes et stations de moyenne montagne dont elle a la charge.

Au-delà de la concertation indispensable avec les acteurs du territoire, la mise en place de partenariats opérationnels entre équipes de recherches et collectivités semble aujourd'hui une collaboration souhaitable permettant aux uns, de bénéficier notamment de terrains d'expérimentation et ainsi d'avancer plus rapidement dans leur recherche, et aux autres, de mieux comprendre la problématique de l'adaptation au changement climatique à travers des actions concrètes sur leur territoire et de renforcer leur capacité à s'adapter.

Matériels et méthodes

Volet végétalisation

Deux sites d'expérimentation ont été sélectionnés sur le territoire du Grand Lyon en accord avec les services de la Ville de Lyon et du Grand Lyon. Des expérimentations ont donc été menées sur le mur du Centre d'Echanges de Perrache et sur la toiture du Centre des Congrès de la Cité Internationale. Deux axes prioritaires de recherche ont été analysés : l'atténuation des pics de chaleur et la régulation hydraulique. Ces travaux ont également donné lieu à une modélisation.



a) Façade végétale avec substrat instrumenté à l'échangeur de Perrache

b) Station météo et toiture végétale instrumentée à la Cité internationale

Figure 1. Les sites d'expérimentation

a) Centre d'Echanges de Perrache

Le mur végétalisé de Perrache, 1^{er} mur végétalisé dépolluant expérimental, a été installé en 2007 par la société Canevaflor qui en assure aujourd'hui l'entretien et a mis à la disposition des équipes de recherche outre ses informations sur la

constitution de ce mur, une nacelle permettant l'installation de capteurs. Constitué d'une structure en acier galvanisé avec une toile imputrescible et un réseau d'irrigation (substrat et plantation), le mur est composé de plantes vivaces, en majorité des plantes méditerranéennes choisies pour leur feuillage persistant.

Afin de mieux appréhender l'interaction des composants végétalisés avec la thermique du bâtiment, des capteurs de température, d'humidité d'air et d'humidité dans le substrat ainsi qu'une centrale météorologique avec les capteurs d'irradiation solaire ont été installés. Des données sur le rayonnement solaire et les conditions climatiques ont été collectées (pluviométrie, température de l'air, vitesse et direction du vent sont collectées en parallèle). Une acquisition des variables mesurées est réalisée toutes les 10 minutes.

b) Centre de Congrès de la Cité Internationale

Plusieurs toitures terrasses du Centre de Congrès sont végétalisées. En accord avec le Grand Lyon, les chercheurs ont choisi d'expérimenter une toiture végétalisée en 1995 de 283 m² avec un substrat planté de sédums et ne bénéficiant pas d'entretien particulier.

Des capteurs de température et d'humidité et une station météorologique ont été installés. Des capteurs permettant le suivi hydrologique et hydraulique et la création d'un modèle destiné à être utilisé pour simuler d'autres conditions de fonctionnement (changements des caractéristiques du substrat...) ont également été installés. Le dispositif expérimental comprend un pluviographe à augets, trois débitmètres électromagnétiques installés sur 3 conduites qui ont dû être modifiées afin de pouvoir effectuer les mesures de débit. Ces données mutualisées permettent d'obtenir des informations sur l'ensoleillement, la température, l'humidité ambiante, la direction et la force du vent et l'évaporation et le fonctionnement hydrologique et thermique de la toiture.

c) Modélisation des échanges

Parallèlement, un modèle dynamique de simulation des transferts thermiques et de masse (eau) des murs végétaux a été développé. Ce modèle en 1D à éléments finis, confronté aux données réelles prend en compte les échanges d'eau et les transferts thermiques par convection, rayonnement et diffusion.

Volet Drôme : Eau, Climat et Impacts liés aux Changements (DECLIC)

Les analyses réalisées dans le cadre de DECLIC relèvent à la fois de la climatologie diagnostique, en partant de données issues de l'observation et de la modélisation numérique du climat, ainsi que de la géographie et des sciences sociales, avec la réalisation d'enquêtes et d'entretiens semi-directifs, ou bien l'analyse de données socio-économiques.

Les données climatiques étudiées sont tout d'abord les séries provenant du réseau départemental Météo-France, en favorisant les séries longues d'au moins une trentaine d'années de mesures. Les principaux paramètres analysés sont surtout les températures, les précipitations et l'enneigement. Des séries hydrologiques (essentiellement débitmétriques) ont permis de discriminer certaines relations hydroclimatiques saisonnières et interannuelles, sans pour autant s'orienter vers des analyses hydrologiques, qui n'étaient pas l'objectif de DECLIC. D'autres séries ont également été utilisées, provenant par exemple de réanalyses climatiques (type NCEP) afin de calculer des indices régionaux pour les comparer aux variations locales et départementales. Un apport important a également été fourni par les réanalyses SAFRAN (Météo-France) qui ont permis de dégager des variations régionales sur la période 1958-2009. Les prévisions climatiques issues de simulations numériques sur le moyen (2021-2050) et le long terme (2071-2100) ont été établies à partir des données issues du programme coordonné par Météo-France et financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), dénommé SCAMPEI (*Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes*) permettant l'accès à des sorties de modèles régionaux à une résolution spatiale intéressante (8 km) pour les questionnements et diagnostics climatologiques dans DECLIC.

La perception du changement climatique par les acteurs et l'analyse des stratégies mises en place ont été étudiées en particulier grâce à une enquête effectuée en 2011 auprès des professionnels du tourisme drômois. Lancée en collaboration avec l'Agence de Développement Touristique et le Conseil Général de la Drôme, cette enquête réalisée en ligne portait sur plus de 2400 enquêtés (avec un taux de réponse de 9%, soit 223 professionnels). Les travaux entre 2010 et 2012 ont aussi permis d'établir toute une série d'entretiens avec des experts départementaux afin de répondre aux problématiques de la perception du changement climatique, ainsi que des possibilités ou pistes d'adaptation déjà en cours. Ces entretiens se sont par exemple orientés vers les responsables de stations de ski, vers les techniciens à la tête des différentes directions du Conseil Général de la Drôme, vers des techniciens de filières ou d'exploitations agricoles (lavande, lavandin, arboriculture, foresterie, espaces protégés) ou bien également vers des acteurs spécifiques (gestionnaires, associations, scientifiques).

Guide « Climat : réussir le changement »

Le parti pris de cette publication était, sans rechercher l'exhaustivité, d'apporter aux acteurs des territoires (et en particulier les élus et techniciens de collectivité), des repères et des outils pour partager la connaissance entre les acteurs et leur

implication dans les projets territoriaux et renforcer ainsi la capacité d'adaptation de leur territoire. Suite à l'édition d'un 1^{er} guide sur le changement climatique, le Groupe de Recherche et d'Actions sur l'Adaptation au Changement Climatique (GRAACC) a été mis en place. En adoptant la(les) posture(s) des élus et techniciens des collectivités, les membres du GRAACC (collectivités, administrations, organismes de recherche, observatoires thématiques, associations...) ont décrit les besoins des acteurs pour entrer dans l'action et s'organiser sur les territoires. Un comité de relecture a été créé avec les membres de ce groupe souhaitant s'investir plus en avant dans la rédaction de ces guides. De nombreux échanges ont eu lieu au sein de ce comité et des personnes extérieures ont été sollicitées sur des points spécifiques afin d'apporter des compléments techniques ou témoignages.

Résultats partiels

Volet végétalisation

L'acquisition des données sur le mur de Perrache s'est effectuée du 11 janvier 2012 au 15 février 2013 avec un pas de temps de 10 minutes. Un traitement statistique des données a permis de détecter les valeurs aberrantes dues à des problèmes de capteurs. Afin de comparer les données en fonction des contraintes climatiques, il a été créé un fichier pour l'été et un fichier pour l'hiver ; ont ensuite été sélectionnés des jours typiques (forts ou faibles ensoleillements, fortes ou faibles températures, forts ou faibles vents,...). À titre d'illustration, la figure 2 représente l'évolution de différents paramètres mesurés dans le système du mur végétal de Perrache.

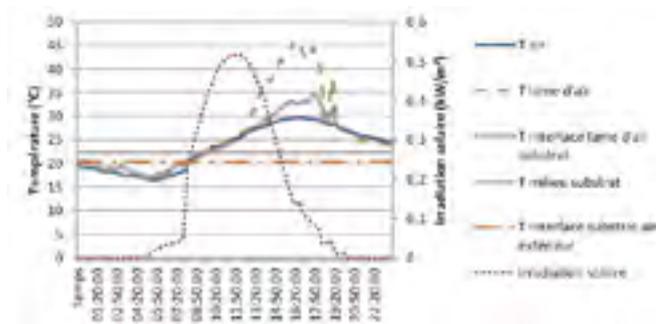


Figure 2. Évolution journalière des températures et de l'irradiation mesurées dans le système du mur végétal de Perrache: exemple de la face Ouest en été pour un jour ensoleillé.

L'analyse des données a permis de mettre en évidence les différents phénomènes physiques à l'origine des échanges thermiques dans le système. Le système est composé d'une source chaude (béton) et d'une source froide (substrat

des plantes). Grâce à la disposition des structures végétales qui sont relativement bien espacées, le rayonnement solaire atteint une bonne partie de la surface du béton. Ainsi, celui-ci joue le rôle d'accumulateur de chaleur. Il peut, ensuite, par sa forte inertie, transmettre la chaleur qu'il a accumulée à la structure végétalisée. Une grande partie des échanges de chaleur qui s'effectuent entre le béton et la structure végétale se font grâce au vent. C'est donc de la convection forcée. De l'air extérieur frais est amené par du vent qui au contact de la surface du béton se charge en chaleur. Dans ce type de transfert de chaleur, la force et la direction du vent jouent un rôle majeur sur l'intensité de flux de chaleur. Une plus faible portion du transfert global de chaleur s'effectue par rayonnement ou par conduction. Plusieurs phénomènes se déroulent simultanément au niveau de la structure. Il y a un transfert thermique entre le béton et le substrat, un transfert par rayonnement solaire, des pertes par chaleur sensible et par évapotranspiration. La grande majorité du rayonnement solaire est réfléchi et dissipé par évapotranspiration. Celle-ci sert de climatiseur naturel aux plantes. Le substrat possède une très forte inertie thermique. L'humidité et les matériaux dont il est fait en font un bon isolant thermique.

Il a donc été mis en évidence et quantifié que, si en période chaude la façade végétale jouait le rôle bénéfique de bouclier thermique, cet effet est en revanche énergétiquement plus pénalisant en hiver dans la mesure où il limite les apports solaires pour le bâtiment. Ainsi pour une façade végétalisée exposée au sud on peut calculer une perte thermique en hiver sous nos latitudes de l'ordre de 15 à 17% en comparaison avec une façade non végétalisée dans les mêmes conditions d'exposition alors que pour une façade végétalisée exposée au nord il y a un gain thermique de l'ordre de 2-3%.

La modélisation dynamique en 1D à éléments finis dont le schéma en analogie électrique est présenté dans la figure 3 a permis de mieux comprendre les échanges et transferts thermiques observés.

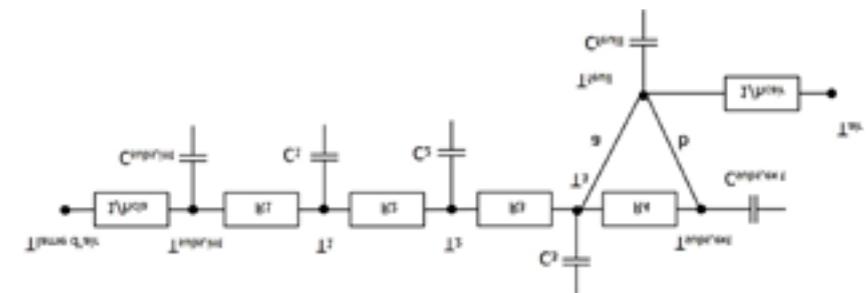


Figure 3. Schéma de l'analogie électrique du modèle de transferts thermiques du mur végétal de Perrache

Les évolutions des paramètres de sortie du modèle suivent l'évolution générale des paramètres expérimentaux comme l'illustre la figure 4 concernant la face ouest du mur végétal en été.

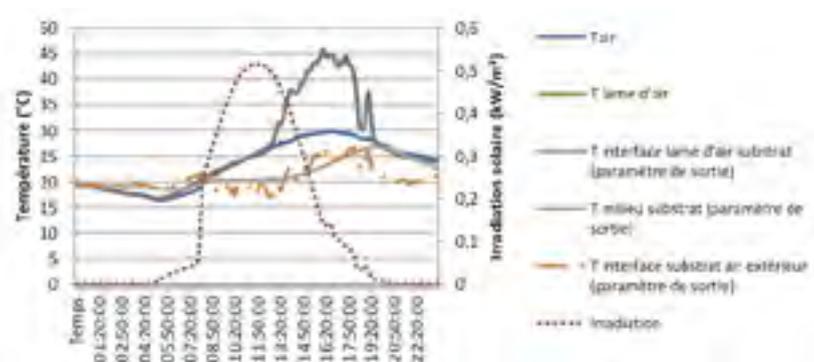


Figure 4. Modélisation de l'évolution journalière des températures et de l'irradiation du système en face ouest en été pour un jour ensoleillé.

En conclusion, pour mieux cerner le rôle des murs végétaux sur les échanges thermiques en milieu urbain il conviendrait d'avoir un mur végétal d'une surface plus étendue que celle des murs de Perrache pour réduire l'effet de surchauffe du béton. Toutefois en période estivale les végétaux atténuent l'échauffement de la structure par l'évapotranspiration, une modélisation en 2D et 3D devrait permettre de mieux prendre en compte les phénomènes de convection dus au vent.

Volet Drôme : Eau, Climat et Impacts liés aux Changements (DECLIC)

Les analyses à partir des stations météorologiques du département montrent tout d'abord que le climat de la Drôme a significativement évolué ces 60 dernières années. On remarque une tendance significative à l'augmentation des températures, surtout pour les températures maximales. Les tendances montrent une évolution plus franche des températures que des précipitations. Une rupture statistique dans les séries climatiques est observée à la fin des années 1980, et plus précisément entre 1986 et 1988 avec une augmentation nette des températures, mais également un changement du régime des précipitations saisonnières, évolutions qui indiquent une modification importante du climat à partir de cette période dans la Drôme, similaire à celle constatée par ailleurs au niveau national et européen. La hausse des températures moyennes dans la Drôme a pu être quantifiée entre +1 et +1,5°C depuis 1989, soit environ +0,34°C en moyenne par décennie pour le département ; le printemps et

l'été sont les saisons les plus affectées par ce réchauffement climatique. L'augmentation moyenne des températures est donc plus rapide dans la Drôme que celle observée par les moyennes thermiques à l'échelle de l'hémisphère nord. Les précipitations montrent des tendances moins marquées que pour les températures. Néanmoins on relève principalement une augmentation des pluies d'automne et d'avril, avec des précipitations plus faibles qu'avant 1988 en février et en mars.

Ces variations climatiques ne se traduisent pas de la même manière sur l'ensemble du département : les zones de montagne sont les plus sensibles à ce réchauffement. Les espaces aux plus hautes altitudes (supérieures à 1000 m) semblent bien plus sensibles au réchauffement climatique, en particulier en saison hivernale. L'évolution contemporaine (*i.e.* depuis les années 1960) de la couverture nivale est très nette, avec une diminution de l'enneigement, davantage liée à l'augmentation des températures qu'à la baisse des précipitations, une réduction de la durée et de la quantité de l'enneigement, ainsi qu'une plus forte variabilité interannuelle.

Au regard des projections régionales issues des données SCAMPEI, et malgré leurs incertitudes relatives (et selon les scénarios et/ou les modèles retenus), les principaux résultats indiquent une hausse des températures moyennes annuelles à moyen terme (2021-2050) de +1,5 à 1,7°C par rapport à la normale 1961-1990, et de +2,5°C à 4,5°C sur le long terme (2071-2100). Le réchauffement attendu alternera des phases de réchauffement rapide avec des phases de réchauffement plus lent, ainsi que de nombreuses phases de refroidissement relatif.

La hausse prévue des températures est plus importante à l'est du département, dans les espaces de moyenne montagne. En plaine, les conditions thermiques estivales seront probablement comparables régulièrement à celles enregistrées en 2003, les maximales diurnes des mois de juillet et août pouvant atteindre voire dépasser communément 34°C. À moyen et long terme, la température moyenne du mois le plus froid de l'année pourrait atteindre entre 1,7 et 2,9°C pour les plus hautes altitudes départementales, et il n'y aurait donc plus de températures moyennes négatives. Cela s'accompagnerait d'une réduction très significative du nombre de jours de gel. À moyen terme, on observe une augmentation prévue du cumul pluviométrique annuel moyen due à l'augmentation du cumul hivernal, qui compenserait la baisse du cumul de la période estivale. Sur le long terme, la hausse du cumul hivernal ne compense pas la baisse du cumul estival, ce qui devrait engendrer la baisse du cumul moyen annuel d'ici la fin du siècle. Les analyses basées sur des approches composites (*i.e.* années extrêmes observées après 1987) suggèrent que les débits départementaux devraient diminuer (jusqu'à 40% par rapport à ceux de la période

1987-2011), dépendant de la diminution des précipitations pluvieuses, de la hausse des températures et de la réduction du manteau neigeux.

Au vu de ces résultats, l'évolution potentielle du climat drômois pourrait avoir des répercussions partielles ou plus fondamentales sur les activités économiques du département. Plusieurs secteurs à enjeux pour le territoire ont été identifiés et ont fait l'objet d'études plus poussées : le tourisme, la filière des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (PPAM) et celle des fruitiers. Les résultats montrent par exemple qu'une remise en cause de la viabilité des stations liées au tourisme hivernal est à prévoir et, au-delà, du modèle de développement territorial des zones de moyenne montagne de la Drôme. L'enquête effectuée en 2011 auprès des professionnels du tourisme drômois indique par exemple que 38,3 % des répondants perçoivent une modification de leur climat local, en premier lieu une augmentation des températures. Quant aux possibilités d'adaptation des structures touristiques de la Drôme, il faut souligner que la grande majorité des professionnels interrogés (82 %) n'ont engagé aucune réflexion ou travaux. Les adaptations sont déjà envisagées par les acteurs les plus sensibles à la question du confort climatique et conscients de la vulnérabilité de leurs ressources, qui se tournent vers la diversification de l'activité (5,4 %) ou un travail de communication. Il est tout de même à noter que bon nombre de répondants (24,2 %) se voient freinés par un manque de moyens financiers. Les analyses portant sur des aspects agro-climatiques, notamment les cultures à forte notoriété patrimoniale et au poids économique non négligeable comme la lavande et le lavandin, avaient comme objectif de mieux comprendre le lien entre production et variabilité climatique. Les acteurs de la filière font état de mauvaises récoltes entre 2003 et 2007 dues principalement à des problèmes sanitaires causant une mortalité importante. Mais peu de données sont disponibles pour la lavande et le lavandin, notamment les paramètres agronomiques et agroclimatiques de base, alors qu'ils sont disponibles pour d'autres filières, comme les fruitiers par exemple qui ont fait l'objet d'une recherche parallèle dans DECLIC. À ce stade, d'après les entretiens, observations et analyses agroclimatiques, la variabilité climatique saisonnière semble influencer directement le rendement annuel en huile essentielle de lavande/lavandin, peut-être en l'influençant indirectement par le développement de maladies, comme le dépérissement à phytoplasme. Ces travaux restent donc pour le moment très exploratoires, car aucune base de données agroclimatiques (et même agronomiques) n'a pour le moment été validée pour cette filière lavande/lavandin dans la Drôme, ce qui est donc un enjeu scientifique important pour une meilleure connaissance de la filière. Pour la filière des fruitiers, les résultats obtenus font état d'une relation entre la phénologie et la variabilité climatique, l'hiver doux causant souvent une floraison précoce et un déficit en fruits. Les impacts

potentiels sont donc la perte de surface, la diminution des rendements associée à une moindre qualité des fruits et une modification gustative avec des conséquences évidentes sur la commercialisation. Mais, à ce jour, un certain nombre de données font encore défaut pour pouvoir confirmer/infirmer un tel impact au niveau local. Des séries bioclimatiques provenant de campagnes de mesures réalisées dans des parcelles représentatives de la diversité du parcellaire fruitier seraient un complément essentiel à ce sujet (campagnes qui restent cependant à programmer). Néanmoins, au regard des recherches précédentes, et en fonction des contraintes agroclimatiques, il y a une forte possibilité pour que l'arboriculture de la Drôme se déplace vers le nord. Si cela est confirmé, les questions relatives à l'irrigation ou encore à la diversification variétale seront posées afin d'adapter les cultures fruitières.

Guide « Climat : réussir le changement »

Un guide en deux volumes a été réalisé. Il vise à engager les collectivités dans la mise en place de stratégies d'adaptation aux effets du changement climatique et à fournir des clés pour élaborer la stratégie d'adaptation et renforcer la capacité des territoires à s'adapter aux changements en cours ou à venir, qu'ils soient attendus ou encore méconnus, et en particulier aux changements d'ordre climatique.

Le 1^{er} volume rédigé en direction des décideurs s'attache à répondre aux principales questions qu'ils se posent au moment d'engager leur réflexion sur l'adaptation aux effets du changement climatique au sein de leur collectivité ou sur leur territoire. Il donne à réagir pour agir. Il présente quelques points clés pour imaginer les principales étapes d'élaboration d'une stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique. Synthétique, il peut être lu indépendamment du second volume.

Le 2nd volume rédigé en direction des opérationnels s'attache à répondre aux principales questions qu'ils se posent dans l'élaboration de stratégies pour l'adaptation du territoire et de la collectivité aux effets du changement climatique. Il donne les clés pour comprendre la question climatique et organiser les étapes d'une démarche participative, visant à inciter les acteurs du territoire à contribuer par l'action. Par des fiches thématiques il apporte des informations pratiques de compréhension, de connaissance de la situation en Rhône-Alpes, mais aussi des supports de communication pour organiser l'animation des démarches d'élaboration de stratégies d'adaptation.

Les deux volumes du guide « CLIMAT : réussir le CHANGEMENT » ont été imprimés à 800 exemplaires pour le premier et 300 pour le second. Ces productions ont été diffusées dans le réseau du GRAACC, aux collectivités de Rhône-Alpes et seront adressées sur demande dans la limite des stocks

disponibles. Elles seront prioritairement diffusées à l'issue de réunions de sensibilisation, aux participants élus et techniciens susceptibles d'engager une démarche sur leur territoire. Par ailleurs ces documents sont accessibles sur Internet, téléchargeables aux adresses suivantes <http://www.ddrhonealpesraee.org/> et <http://www.raee.org/>. Une communication par mailing a informé, de la publication de ces outils, les élus et techniciens des collectivités territoriales de Rhône-Alpes, les membres de RAEE et de ses réseaux régionaux (GRAACC, CVTDS, Urbanisme et développement durable...).

Conclusions et perspectives

Si le découpage de ce projet en trois volets très différents a rendu la coordination complexe et n'a pas permis de réels échanges entre les différents acteurs des volets de ce projet, on a cependant perçu, à l'échelle des deux expérimentations et de l'édition du guide, l'intérêt d'une collaboration entre équipes de recherche et collectivités locales sur le thème de l'adaptation au changement climatique.

Cette collaboration permet aux collectivités de passer d'un concept à des notions concrètes que s'approprie le territoire. Grâce à la vulgarisation de la parole scientifique, il est possible de permettre au plus grand nombre d'appréhender des éléments complexes et d'accepter plus facilement la notion d'incertitude. Les différents acteurs œuvrent en faveur du « porter à connaissance » pour ramener à l'échelle locale les enjeux climatiques de l'échelle internationale.

Acquis en termes de transfert

Les travaux menés dans le cadre de ce projet ne s'arrêteront pas à la fin de ce projet puisque les uns poursuivront leur travail de recherche, les autres le travail de sensibilisation et d'information. La collaboration entre équipes de recherche et collectivités initiée dans le cadre d'Ecclaira est amenée à se poursuivre et à se développer au-delà du projet.

Végétalisation

Le projet a nécessité la mise en œuvre de dispositifs expérimentaux originaux et autonomes. Etant donné que les instrumentations sont réalisées en site réel impliquant de l'eau, du vent, de la boue (substrat), il était alors nécessaire d'avoir un bon compromis entre robustesse et précisions des capteurs. Le premier dispositif a été mis en place sur le site de Perrache après une phase de tests réalisés en Savoie. Le matériel de mesure sélectionné a donné pleinement satisfaction par rapports aux critères mentionnés. Le dispositif a donc été

dupliqué sur les deux sites (Perrache et Cité Internationale). L'instrumentation devrait rester en place jusqu'à l'été 2013. La collaboration sur les deux sites instrumentés (gare de Perrache et Cité Internationale) entre le Grand Lyon et les laboratoires de recherche impliqués (LOCIE, LGCIE, Chaire INSA/EDF) se poursuivra au-delà d'Ecclaira et permettra de recueillir des données sur les 4 saisons afin d'approfondir les analyses et avoir une vision plus fine des impacts des toits et des murs végétalisés dans les zones urbaines sur l'atténuation des pics de chaleur et la régulation de l'eau. Grâce à ces expérimentations et à la modélisation rendue possible par la confrontation avec des données réelles, les maîtres d'ouvrage pourront bénéficier de règles de dimensionnement notamment pour une meilleure gestion des eaux pluviales. Les espaces végétalisés de la Ville de Lyon représente aujourd'hui 3,5 ha et d'autres projets sont en cours. La qualité de vue et de vie est mise en avant par la Ville de Lyon qui soutient la collaboration recherche/collectivité depuis plusieurs années tout comme le Grand Lyon. D'autres recherches ont notamment été menées en lien avec la société Canevaflor sur la capacité dépolluante des murs végétaux. L'ensemble de ces recherches sur la végétalisation en zone urbaine permet d'amplifier les connaissances de la collectivité et de la conduire à développer les murs et façades végétalisés pour répondre à de nombreux enjeux urbains liés au changement climatique.

Volet Drôme : eau, climat et impacts liés aux changements (DECLIC)

Au regard de l'ensemble de ces résultats (qui restent toujours préliminaires quoique basés sur trois années d'étude) et des enjeux qu'ils soulèvent, il apparaît déjà plusieurs acquis et suites possibles pour le programme qui pourraient être menées en collaboration avec le Conseil Général. La faisabilité d'une collaboration/mutualisation pourrait être explorée afin d'aller plus loin dans la prospection des impacts du changement climatique. Par exemple, le Conseil Général et la Chambre d'Agriculture pourraient typiquement organiser des enquêtes auprès des exploitants de lavande/lavandin, afin de créer une base de données fiable et complète.

À ce stade, la communication et la diffusion du travail réalisé dans le cadre de DECLIC est nécessaire, pour rendre concret les impacts du changement climatique en cours, pour mieux s'y adapter et aller plus loin dans l'information des élus, des techniciens et des partenaires.

Engager une réflexion multisectorielle sur le modèle de développement souhaitable pour les espaces montagnards de la Drôme est également un axe important, afin de dégager les capacités de réorganisation du territoire et, par

conséquent, la capacité de réponse des politiques publiques. Cela pourra passer par la réalisation d'un « Porter à connaissance » (courant 2013) à destination des élus et des acteurs publics du département de la Drôme (forum de restitution et de tables rondes) et portant sur la vulnérabilité départementale aux changements climatiques ; ou encore la conception et diffusion d'une plaquette de vulgarisation scientifique à destination des principaux organismes départementaux intervenant dans les domaines du tourisme, de la ressource en eau et de l'agriculture ; ou bien également la réalisation et la mise en ligne d'un site web mettant à disposition l'ensemble des résultats et des données scientifiques obtenus par le programme GICC-DECLIC.

Guide « Climat : réussir le changement »

La diffusion des deux volumes du guide permettra de montrer les implications des élus au niveau régional et contribuera à la sensibilisation, l'information et le renforcement des capacités d'adaptation des collectivités locales, qu'elles aient ou non participé à ce projet. Ce guide élaboré dans le cadre d'Ecclaira fait partie d'une mallette d'outils à destination des collectivités qui comprend par ailleurs le 1^{er} guide sur le changement climatique publié par Rhônalpénergie-Environnement en 2007 et des fiches d'explications scientifiques. Une bibliographie documentée d'outils ressources est également prévue et d'autres documents pourraient venir la compléter en fonction des besoins d'informations et d'outils méthodologiques des collectivités. Le GRAACC va poursuivre ses travaux afin de maintenir une veille sur l'actualité du changement climatique et sur les besoins des différents acteurs rhônalpins. Ces différentes actions contribueront à préparer le territoire à s'adapter pas à pas au changement climatique en accompagnant les élus et les services techniques dans la définition et la mise en place de stratégies d'adaptation au changement climatique.

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Rome S., Bigot S., Dubus N. Pochelon I., 2010. Variabilité pluri-décennale du climat de la Drôme : présentation du projet GICC-ECCLAIRA-DECLIC (2010-2012). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 23, 523-528.

Rome S., Bigot S., Dubus N. Anquetin S., 2010. Climate Change impacts in the Drôme department (southeastern France): the GICC-DECLIC Project (2010-2012). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, European Geosciences Union - General Assembly (April, Vienna), SRef-ID: 4037-1.

Bigot S. et Boncompain J., 2010. Suivi de l'enneigement grâce à l'imagerie MODIS (2000-2010) : application à l'échelle des massifs de moyenne montagne en Drôme et Isère. *XI^{ème} Journées Scientifiques du Réseau « Télédétection »* de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), 23-25 novembre, Monastir, Tunisie.

Tritz C., Bigot S., Rome S., Pochelon I. et David L., *sous presse*. Perception du changement climatique sur les activités touristiques : exemple d'une enquête exploratoire dans le département de la Drôme (sud-est de la France). *Géo-Regards*.

Leroy E., Rome S. et Bigot S., 2012. Variabilité spatio-temporelle de la température de l'air (1950-2009) dans le département de la Drôme (région Rhône-Alpes, France). *Publications de l'AIC*, 25, 469-474.

Philippe F., Bigot S., Rome S., 2012. Le changement climatique à l'échelle de la Drôme : analyse et évaluation des projections climatiques issues du programme SCAMPEI. *Publications de l'AIC*, 25, 607-612.

Tritz C., Schiavone S., Rome S., Bigot S., David L. Pochelon I., 2012. Perception du changement climatique par les professionnels du tourisme : exemple dans le département de la Drôme (France). *Publications de l'AIC*, 25, 745-750.

Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation

Bertrand-Krajewski J.L., 2012. Toitures végétalisées : quelques éléments sur la recherche en cours. *5^{ème} journée Technique de l'OTHU* (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine) : INSA de Lyon (LGCIE) JT OTHU – Article végétalisation <http://www.graie.org/othu/pdf/othu/JTOTHU5-ACTES-9fev12web6.pdf>, 104-105.

Rapports de fin d'étude

Ivann Jeanne, 2013. Suivi et modélisation des transferts de masse et de chaleur de parois actives végétalisées (mur et toiture). Application au cas du mur végétal de Perrache. Ingénieur EBE, Polytech Annecy-Chambéry, Université de Savoie, 40 p.

Guinchard Kévin, Rousset Flavien, 2012. Suivi et modélisation des transferts de masse et de chaleur de parois actives végétalisées (mur). Application au cas du mur végétal du parking de la gare Lyon Perrache. Ingénieur EBE, Polytech Annecy-Chambéry, Université de Savoie, 39 p.

Gauthier Thomas, Jacquet Frédéric, Pelloie Pierre, 2011. Murs végétalisés, Modélisation et instrumentation. Ingénieur EBE, Polytech Annecy-Chambéry, Université de Savoie, 45 p.

Maigne Alexandre, Bressan Lorenzo, 2010. Murs végétalisés, état de l'art et modélisation de l'évapotranspiration. Ingénieur EBE, Polytech Annecy-Chambéry, Université de Savoie, 38 p.

Billon Lorène, 2010. L'impact du changement climatique sur le confort climatique de sites touristiques : le cas du département de la Drôme, mémoire de master 2 R STDDAD, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 54 p.

Boncompain Jérôme, 2010. Atlas de l'enneigement hivernal à l'échelle Drôme-Isère grâce à l'imagerie Modis (2000-2010), mémoire de master 2 réalisé au LTHE, Université de Saint-Etienne, 72 p.

Leroy Eve, 2011. Bilan des variations climatiques récentes (1950-2009) dans le département de la Drôme, mémoire de master 2 R STDDAD, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 69 p.

Girault Camille, 2011. Evolution de la couverture nivale dans la moyenne montagne drômoise : quels constats et quelles implications sur le tourisme hivernal ?, mémoire de master 2 R STDDAD, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 95 p.

Torre Julien, 2011. Les mesures d'adaptation au changement climatique dans le domaine de la gestion de l'eau - inventaire et outil d'aide à la décision pour le département de la drôme, mémoire de master 2 R STDDAD, ESPACE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 66 p.

Geffroy Valérian, 2011. Milieux naturels, activités touristiques, changements climatiques : étude exploratoire en Vercors-Drôme, mémoire de master 2 R STDDAD réalisé à PACTE, ENS Lyon, 115 p.

Butaud Maxime, 2011. Etude des relations entre les précipitations et le débit des cours d'eau dans le département de la Drôme entre 1958 et 2010, rapport de stage de master 1 HydroSciences, Université Montpellier 1, 53 p.

Schiavone Sophie, 2011. Mise en place d'une enquête sur les représentations du changement climatique et ses impacts pour les professionnels du tourisme dans la Drôme, rapport de licence 3, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 38 p.

Butaud Maxime, 2012. Détermination de la variabilité des pluies efficaces dans le département de la Drôme : conséquences hydrométriques potentielles, mémoire de master 2 R STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 88 p.

Dhenain Sandrine, 2012. Des représentations du changement climatique aux stratégies locales d'adaptation : le cas du département de la Drôme, mémoire de master 2 R STADE, ESPACE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 74 p.

Schiavone Sophie, 2012. Le tourisme face au changement climatique - Perceptions des évolutions et stratégies d'adaptation, rapport de master 1 STADE, PACTE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 21 p.

Li Shan, 2012. Adaptation des cultures fruitières de la Drôme aux exigences phéno-climatiques, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 68 p.

Long Amandine, 2012. Adaptation des cultures fruitières de la Drôme aux exigences phéno-climatiques, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 46 p.

Morel Pauline, 2012. Relation entre température, manteau neigeux et phénologie végétale : essai de suivi in situ dans le Vercors, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 56 p.

Philippe Félix, 2012. Le changement climatique à l'échelle de la Drôme - Analyse et évaluation des projections climatiques issues du programme SCAMPEI, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 56 p.

Cipriani Laure, 2012. La dynamique des paysages agro-forestiers sur le synclinal perché de Saou (Drôme), dans le contexte du changement climatique, mémoire de master 2 P STADE, PACTE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 74 p.

Raymond Florian, 2012. Influence de la variabilité climatique sur la lavande et le lavandin de la Drôme : facteurs limitants et phénologies en lien avec le climat, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 54 p.

Mourgues Aurélien, 2012. Influence de la variabilité climatique sur la lavande et le lavandin de la Drôme : facteurs limitants et phénologies en lien avec le climat, rapport de master 1 STADE, LTHE, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 49 p.

Cortial Clément, 2012. Le tourisme et l'évolution de l'équipement touristique face aux changements climatiques : Le cas du département de la Drôme, mémoire de master 2 R STADE, PACTE, Université de Saint-Etienne, 29 p.

ADAP'TERR - L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LES DÉFIS D'UNE APPROCHE INTÉGRÉE POUR LES TERRITOIRES

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : septembre 2009

Montant du budget : 162 606 € TTC dont 137 026 € TTC de subvention du service de la recherche du Ministère en charge du développement durable

Coordinateur

François Bertrand

UMR CITERES 7324

Maison des Sciences de l'Homme Val-de-Loire/Université de Tours

33, Allée Ferdinand de Lesseps

BP 60449

37204 Tours cedex 03

Email : francois.bertrand@univ-tours.fr

Partenaires

Laurence Rocher – Institut d'urbanisme de Lyon, Université Lyon 2, UMR 5600 Environnement, ville, société

Elsa Richard, Corinne Larrue – UMR 7324 CITERES, Université de Tours

Luc Semal – CERAPS, Université de Lille II

Laure Heland – Ecole nationale supérieure d'architecture de Paris La Villette

Ce projet a réuni une équipe de chercheurs (cinq en aménagement et un en sciences politiques), dont l'avancement des travaux a été discuté au sein d'un comité de suivi composé de :

Michel Gariépy – Institut d'urbanisme, Université de Montréal

Patrice Mele – UMR 6173 CITERES, Université de Tours

Olivier Soubeyran – UMR PACTE, Université de Grenoble

Anne Tricot – UMR PACTE, Université de Grenoble.

Mots-clés : changement climatique, adaptation, territoires, échelles, action publique locale, PCET, SRCAE, stratégies « post carbone », vulnérabilités

Objectifs des recherches

L'ambition initiale de ce projet a été de comprendre comment émergent et se structurent un besoin et une volonté de s'adapter aux effets des changements climatiques dans l'action publique à l'échelle des collectivités territoriales, dans un double objectif :

- Caractériser et identifier les différentes formes de **réaction des territoires face au problème climat**. La recherche visait une meilleure connaissance des stratégies de réponse des pouvoirs publics locaux face aux effets annoncés des changements climatiques. Elle ambitionnait également d'observer comment l'enjeu climatique peut **renouveler l'appréhension et la gestion du risque, la perception des vulnérabilités territoriales et les capacités de réactions des sociétés locales**.
- Caractériser et analyser les modalités de **mise à l'agenda et de construction de politiques publiques locales** en matière d'adaptation au changement climatique. Il s'agissait d'identifier ce qui détermine et ce qui motive l'engagement des acteurs locaux en matière d'adaptation aux effets du changement climatique, comment s'élaborent les stratégies et les mesures d'adaptation et comment elles s'articulent avec les actions d'atténuation, notamment au sein de politiques climatiques spécifiques.

Présentation des travaux

Introduction

Une étude des processus de mise en politique locale du « problème climat¹ », sous l'angle de l'adaptation

Les travaux ont visé, à partir d'études de cas, à recueillir des éléments de compréhension sur les formes de construction de l'action climatique locale : les modalités de mise sur agenda et de définition des changements climatiques en tant que problème public local, et la construction de l'adaptation comme un objet de l'action publique locale. L'analyse des processus de construction et du contenu des politiques climatiques permet de mettre en perspective une série d'enseignements relatifs à l'articulation des échelles d'action et au caractère

1 – Le terme de « problème climat » est utilisé pour désigner les changements climatiques en tant que nouvel objet d'action collective et celui de « politiques climatiques » pour désigner l'ensemble des actions mises en œuvre à l'initiative des pouvoirs publics et justifiées par la résolution du « problème climat ».

intégré des politiques climatiques, les deux hypothèses de départ du projet.

D'une part, les définitions territoriales de l'adaptation aux changements climatiques ne sont ni stabilisées ni strictement bornées, c'est-à-dire qu'elles ne se limitent pas systématiquement aux seuls impacts des changements climatiques (ceux-ci n'étant pas strictement isolables dans les situations locales), qu'elles sont variables (bien davantage que pour les actions d'atténuation), qu'elles peuvent adopter des formes extensives (incluant d'autres effets auxquels il convient de s'adapter) et, de fait, être intégrées.

D'autre part, si l'action face au « problème climat » implique une coordination multi-échelle et une action simultanée orientée vers un objectif, les actions locales en matière d'adaptation s'organisent autour d'acteurs territoriaux en capacité de faire exister ce « problème climat » localement (production et médiation des connaissances territorialisées) et de « mettre en musique » les diverses actions climatiques engagées par une multitude d'acteurs (coordination et animation), en s'assurant de leur imbrication et de leur complémentarité. Ces fonctions reposent d'une part sur des « organismes frontières² » multi-niveaux et d'autre part sur des collectivités territoriales de niveaux intermédiaires stratégiques, c'est-à-dire en capacité d'allier production et traitement de l'information et coordination de l'action.

Matériels et méthodes

Organisation de la recherche

La recherche s'est organisée autour d'un travail théorique afin de discuter certains concepts clés (adaptation, vulnérabilité, « problème climat », action climatique locale...) et d'un travail d'observation des différents aspects de l'institutionnalisation des politiques climatiques locales en France. Ces éléments ont alimenté l'élaboration d'un cadre d'analyse permettant de restituer les différentes enquêtes de terrain.

Les enquêtes de terrain ont porté sur deux agglomérations (Lyon – 2009 à 2011 – et Montréal – printemps 2011) et deux régions (Rhône-Alpes – printemps 2011 – et Bourgogne – étés 2010 et 2011), compris comme des niveaux territoriaux « stratégiques ». Ces terrains ont été sélectionnés comme pertinents à la vue de leur implication en matière d'adaptation, c'est-à-dire pouvant être

2 – Ces « structures ponts » ou « organismes frontières » peuvent se définir par leur non-concurrence avec les collectivités territoriales et par leurs accès facilités aux différentes institutions à différents échelons territoriaux. Rentrent dans cette catégorie, pour les études conduites ici, les agences régionales de l'environnement, les agences d'urbanisme ou encore les agences locales de l'énergie.

considérés comme « en avance » car développant un discours explicite sur la dimension d'adaptation.

D'autre part, une étude des mouvements *Transition Towns*, « villes en transition », en Angleterre et *Cittaslow*, « villes lentes », en Italie a permis de saisir l'émergence d'une attention portée à l'adaptation en dehors des cadres institutionnels.

Cadre d'analyse pour les études de terrain

Les études de cas se sont attachées à approfondir comment le « changement climatique » devient localement un « problème public », auquel sont associés des stratégies, principes d'action et objectifs. Elles ont permis d'observer les formes de traduction et d'appropriation locale ainsi que les modalités d'intégration du changement climatique dans la construction des politiques territoriales.

Quatre niveaux d'analyse ont guidé cette recherche :

- Les **dynamiques locales** de mise en politique du « problème climat » : il s'agit d'étudier les prémices des politiques climatiques locales, notamment celles concernant l'adaptation, pour saisir comment se construit ce problème public et selon quelles modalités s'opèrent les processus de mise à l'agenda. Existe-t-il des événements déclencheurs identifiants ? Quels sont les enjeux spécifiquement associés et leur importance ? Quelles influences ont les injonctions des échelons supérieurs ? *etc.* Dans quels cadres d'action supra-territoriaux s'inscrivent les politiques mises en œuvre (labels, appartenance à des réseaux de collectivités, campagne nationale, *etc.*) ?
- Les **jeux d'acteurs** : quelle structuration du système d'acteurs en charge de la mise à l'agenda du « problème climat » et de l'adaptation ? Quels sont les acteurs porteurs ? Quelles reconfigurations dans les jeux d'acteurs locaux ?
- Les **discours produits** : quelles compréhensions et quelles traductions du « problème climat » et plus particulièrement de la thématique de l'adaptation sont observables dans les discours des acteurs des territoires ? Quelles convergences et divergences portent-ils ?
- Les **contenus associés** en termes de principe pour l'action et de programmation d'actions : les objectifs, les méthodes de mesure, les instruments d'action, les secteurs associés, *etc.*

L'articulation entre les enjeux d'atténuation et d'adaptation est un point observé avec attention : quelles synergies ? Quels cloisonnements ?

Résultats

Les analyses relatives à la construction de politiques climatiques locales et l'usage du concept d'adaptation font ressortir que, si localement, la question des effets des changements climatiques pour les systèmes territoriaux devient de plus en plus prégnante, l'appréhension de ces effets demeure délicate et l'action pour se prémunir ou anticiper ces effets est balbutiante.

On observe une évolution des représentations de l'urbanisme durable confronté au « problème climat ». Tout d'abord, la dimension « atténuation » instaure une exigence de systèmes urbains « bas carbone », s'accompagnant d'une quantification carbone omniprésente bien qu'imprécise, sans arriver pour autant à prendre en compte les effets « rebonds³ » et les reports de non-durabilité sur l'extérieur (notion de « durabilité importée » d'après Pearce *et al.*, 1989)⁴. Ensuite, la dimension « adaptation » vient réinterroger certaines options morphologiques associées au modèle de la ville durable (densification, compacité, ...).

La prise en compte des effets du changement climatique accompagne également des modifications dans la prise en compte locale des risques naturels, ne se focalisant plus seulement sur la caractérisation de l'aléa mais tentant aussi de développer d'autres approches en termes de réduction des vulnérabilités territoriales.

La délimitation des objets de l'adaptation et donc du sens à donner aux actions d'adaptation apparaît ouverte et guère stabilisée. Elle varie notamment si l'on considère les changements climatiques comme un problème d'environnement isolé et l'adaptation aux changements climatiques comme une activité propre : s'agit-il de développer des politiques d'adaptation ou adapter les politiques territoriales ? Elle dépend également de la représentation des effets à venir des changements climatiques, si on les considère comme des évolutions tendancielles à intégrer comme d'autres paramètres ou davantage comme des « chocs » et des ruptures pour lesquels la préparation nécessite tout à fait autre chose.

Les analyses présentent finalement l'adaptation aux changements climatiques comme un enjeu délicat à appréhender pour l'action locale. En pratique, les

3 – L'effet rebond « est généralement défini comme une réduction des gains de l'efficacité (typiquement énergétique) due à une réallocation des économies réalisées en vue d'une consommation accrue. » (Schneider, 2009)

4 – « Il y a durabilité importée lorsqu'un territoire est susceptible de garantir la durabilité de son développement, en en rejetant le coût, en quelque sorte, sur les autres territoires. Par le transfert des pollutions (exportation de déchets) ou des activités polluantes, ou par l'achat sous-évalué de ressources naturelles, le territoire couvre alors en son sein les besoins de sa population et assure les conditions générales de durabilité, mais (...) en compromettant la capacité des autres territoires à satisfaire leurs propres besoins. » (Laganier & al., 2002)

impacts comme les réponses aux effets des changements climatiques apparaissent relativement hétérogènes selon les caractéristiques des territoires, les définitions du problème comme les stratégies déployées en réponse. En devenant une des dimensions de l'action face au changement climatique en cours de structuration, l'adaptation peut être interrogée, tant dans les périmètres qui lui sont et lui seront donnés localement par l'action publique (« à quoi s'adapter ? ») que dans les significations associées (« pourquoi et comment s'adapter ? »).

L'institutionnalisation des « politiques climatiques » des collectivités territoriales en France

L'analyse de l'institutionnalisation des politiques climatiques en France a permis de situer l'évolution du contexte réglementaire, les obligations en matière de comptabilité locale des émissions de gaz à effet de serre ainsi que le contexte dans lequel ont été élaborés les Schémas Régionaux Climat Air Energie (SR-CAE), dont l'élaboration est étudiée en détail dans les deux études régionales, en Bourgogne et Rhône-Alpes.

Le tableau 1 propose un aperçu synthétique des dynamiques de constitution des politiques climatiques en France, selon les différents niveaux de collectivités territoriales concernées.

Tableau 1. Dynamiques de constitution des politiques climatiques en France (Bertrand, 2011)

Echelle	Régionale	Départementale	Agglomérations et villes de + de 50 000 hab.	Intercommunale (Pays et PNR)	Communale (<50 000 hab.)
2000	Les prédécesseurs (air, énergie, DD...)				
...	Volet Environnement Energie des CPER Agenda 21 Régional Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA)	Agenda 21	Agenda 21 Charte d'écologie urbaine Approche environnementale de l'urbanisme (AEU)	Contrats ATEnEE (Actions Territoriales pour l'Environnement et l'Efficacité Energétique) Contrat d'Objectif territorial (COT) Agenda 21 local	AEU Agenda 21 local
2004	Expérimentations méthode Bilan Carbone... Plan Climat de 2004 instaure les Plans Climats Territoriaux				
2005	1^{er} temps des « politiques climatiques » locales : volontariat et expérimentation				
2007	1 ^{ères} réflexions sur l'adaptation : guide, études prospectives, modélisations régionales...				
2011	2nd temps des « politiques climatiques » locales : obligations et généralisation				
...	Schéma régional climat air énergie (SRCAE) / PCET	PCET	PCET	PCET, Agenda 21, Charte PNR	PCET Agenda 21

Analyses issues des résultats de terrains

Les analyses des processus de mise à l'agenda des changements climatiques en tant que problème local⁵ mettent en évidence l'importance des activités de production et de diffusion de connaissances, et le rôle des « organismes frontières » et des « agents de médiation » en charge d'animer un dialogue entre personnels scientifiques et acteurs techniques locaux (tableau 2). Les études de cas montrent également le passage d'une réflexion sur l'adaptation aux impacts, souvent les premiers travaux « fondateurs », à une recherche sur l'adaptation réduisant la vulnérabilité, illustrant une ouverture et une évolution des représentations de la vulnérabilité, de seule résultante de l'aléa à l'« intrinsèque » au territoire.

Tableau 2. Dynamiques et démarches cognitives dans l'appréhension de l'adaptation aux changements climatiques au sein des territoires observés – Source : études de cas du projet Adap'Terr

	Niveau régional		Niveau urbain	
	Bourgogne	Rhône-Alpes	Grand Lyon	Montréal
Structures et dispositifs pour l'appréhension des effets locaux des changements climatiques	Agence régionale Alterre (étude de l'impact du CC sur la ressource en eau). Appel à projet infrarégional Plan Climat Energie Territorial (2009). Contractualisation Alterre – ADEME sur l'adaptation 2010-2012).	Guide Rhonalpénergie-Environnement sur l'adaptation (2007). Réseau Régional Energie Climat. Groupe de Réflexion et d'Actions sur l'Adaptation.	Participation au programme AMICA (Adaptation and mitigation, an integrated climate policy approach) (2005-2008).	Consortium Ouranos. Programme « Climat Municipalités » (Plan d'Action québécois sur les Changements Climatiques 2006-2012).
Dynamique de saisie de l'adaptation aux changements climatiques	« Experte et personnelle » (liée à une personne) Economique (filières viticoles et foresterie) Réglementaire (dans un 2 ^{ème} temps)	« Experte » Scientifique (connaissance des impacts) Réglementaire (dans un 2 ^{ème} temps)	« opportuniste » (conjoncturelle) « Experte » (autour du noyau Communauté urbaine/ Agence Locale de l'Energie-Hespul / Agence d'Urbanisme)	« Experte, scientifique » (connaissance des impacts, via Ouranos) « Sanitaire » (via la santé publique) « Techniques » (gestionnaires des réseaux d'eau)

Les filiations des politiques climatiques proprement dites avec différents secteurs de l'action publique locale ont été mises en évidence dans chacun des cas étudiés. En tant que « nouvel objet », le changement climatique vient trouver des points d'appui à la fois en termes de connaissance, notamment lorsqu'il est question d'établir des bilans de gaz à effet de serre (GES), de consommation énergétique ou de vulnérabilité, et en termes d'action. Le lien avec l'énergie est une constante en France, qu'il s'exprime en termes de tensions ou de congruences. L'expertise locale en matière de qualité de l'air est un autre pilier

5 – Cf. la 3^{ème} partie du rapport final du projet Adap'Terr « Analyses issues des résultats de terrains », section A.

de l'action climatique au niveau urbain, formalisé au niveau régional avec les schémas régionaux climat air énergie (SRCAE). La question sanitaire, plus ou moins institutionnalisée à l'échelle urbaine (ce qui conduit à des formulations différentes du risque de chaleur entre Lyon et Montréal) est un élément central de l'adaptation. Tous ces domaines, plus ou moins développés suivant les échelles et les contextes considérés, sont des arrimages pour l'action climatique locale.

Les politiques climatiques, des politiques constitutives ?

Une des principales activités liées aux politiques climatiques locales consiste à produire, traduire et diffuser des connaissances afin de mieux connaître les contributions locales aux changements climatiques et affiner l'observation et la compréhension fine de leurs effets actuels et à venir. L'importance des activités dédiées à la production de ressources cognitives laisse penser que les politiques climatiques locales sont des politiques constitutives, existant de façon incrémentale et permettant une grande flexibilité par rapport à la diversité des situations locales. Elle indique une construction de l'action publique, particulièrement pour l'adaptation, où l'interdépendance étroite entre activités scientifiques et action publique s'exprime jusqu'au niveau local.

Enseignements sur la coproduction des politiques climatiques locales

Les politiques climatiques s'inscrivent dans un modèle de production de l'action publique territoriale caractérisé par des processus de décision multipliant les lieux et les acteurs impliqués. Les processus locaux étudiés montrent des dispositifs d'élaboration largement ouverts, en termes d'acteurs comme d'instruments mobilisés. Ces formes d'élaboration ne sont pas propres aux questions d'énergie et de climat. Elles conduisent à des instruments largement basés sur le partenariat, aboutissant à des politiques climatiques très faiblement contraignantes, encore relativement séparées du reste des politiques locales.

Adaptation et atténuation, les deux volets d'une politique climatique bicéphale ?

Pour différentes raisons, les réflexions en matière d'adaptation arrivent dans un second temps dans la construction des politiques climatiques locales, qui sont avant tout des politiques d'atténuation des changements climatiques, où l'adaptation est mentionnée plutôt que réellement traitée. Quand la thématique de l'adaptation existe localement, il n'est pas rare qu'elle soit travaillée, souvent sans mandat précis, en périphérie ou à l'extérieur des politiques climatiques, qui demeurent des politiques d'atténuation et des politiques énergétiques portées par des personnels dédiés, spécialisés autour de ces champs d'action.

Cette autonomisation de l'adaptation aux changements climatiques s'explique en partie par le fait qu'elle ne relève pas des mêmes compétences, ni des mêmes savoir-faire, ni des mêmes logiques que celles nécessaires pour traiter l'atténuation et plus largement pour protéger l'environnement. De la même manière, elle ne présente pas la même matérialité ni les mêmes gains (en termes économiques principalement) que les volets atténuation des politiques climatiques. Et contrairement à l'atténuation, l'adaptation se retrouve davantage « orpheline » localement, sans mesures préexistantes sur lesquelles se bâtir.

Enfin, si la reproductibilité des mesures d'atténuation semble assez facilement envisageable (mesures sectorielles, système de comptabilité carbone...), les actions d'adaptation semblent résister davantage à la standardisation. En termes de savoirs techniques, ceux liés à l'atténuation seraient alors des « savoirs objectifs » alors que ceux liés à l'adaptation nécessiteraient davantage d'être territorialisés (savoirs moins transposables et plus dépendant des acteurs locaux, donc plus coûteux).

L'adaptation aux changements climatiques, au centre de conflits définitionnels à venir ?

L'action face au « problème climat » est actuellement fréquemment justifiée notamment comme la saisie d'une opportunité économique (investissement dans les « *clean tech* », développement d'emplois locaux, soutien à l'innovation technologique implantée localement), s'inscrivant ainsi dans un modèle dominé par la recherche de croissance économique et de compétitivité territoriale (à l'inverse d'un modèle privilégiant la consolidation des fonctions vitales de base des territoires, dans la perspective d'un péril commun). La territorialisation de ces politiques comporte peu de contraintes en termes de contenus ou de résultats attendus et conduit à des traductions consensuelles, où les points de débats (sur les valeurs comme sur les arbitrages budgétaires) sont évacués ou reportés aux phases d'opérationnalisation techniques et de mise en œuvre. Les évolutions souhaitables en termes de mode de vie (habiter, s'alimenter, se déplacer...) sont représentées et relayées à la population à travers une politique des « petits gestes », dont on cherche à s'assurer l'acceptabilité à travers des campagnes de communication et de participation. Les politiques climatiques actuelles apparaissent ainsi comme des politiques de « petits pas », témoignant d'un décalage profond entre l'ampleur des défis soulevés par les réductions de gaz à effet de serre envisagées et les moyens et leviers réellement accessibles par les pouvoirs locaux pour agir sur ces sujets.

Pour autant, certains discours, à l'image de ceux développés par les *Transition Towns*, montrent une diversité d'appropriations et de traductions politiques possibles de la notion d'adaptation (entre des conceptions maximalistes et mi-

nimalistes de l'adaptation), suggérant de possibles conflits définitionnels, notamment autour de la nature de ce à quoi il faut s'adapter et du rythme auquel il convient de s'adapter : à long terme et selon un processus continu adapté à des « chocs mous », ou à court terme et selon un processus catastrophique adapté à une convergence de « chocs durs » ? Ces conflits définitionnels, largement invisibles dans les différentes études sur la mise à l'agenda du « problème climat », peuvent être amenés à se développer à mesure que le « problème climat » deviendra un problème politique et social majeur, au-delà de sa seule dimension environnementale.

Discussion

Les stratégies et mesures d'adaptation aux effets des changements climatiques sont juste naissantes au sein des collectivités territoriales. Et cette période est caractérisée par une co-construction de l'adaptation entre chercheurs et praticiens. Pour analyser une action publique, le chercheur a besoin qu'elle soit existante ou en cours de formalisation, ce qui limite l'échantillon de terrains à étudier. Et symétriquement, l'acteur local se tourne vers le scientifique pour obtenir des orientations prescriptives quant aux démarches à conduire.

Les études montrent que l'enjeu de connaissance et la gestion de l'incertitude sont centraux dans l'initiation de dispositifs d'action concrets. On retrouve ainsi des sortes de « forums hybrides », réunissant personnels scientifiques et responsables politico-administratifs. Le chercheur est alors dans une posture de recherche-action, certes enrichissante mais qui l'amène à coproduire le matériau qu'il analyse par la suite. À titre d'illustrations, les chercheurs de ce projet ont conduit simultanément des collaborations avec le GRAACC⁶, Alterre Bourgogne⁷, le PNR Loire-Anjou-Touraine⁸ ou encore l'Atelier d'Urbanisme de Tours⁹.

Perspectives

Il est possible de distinguer deux représentations contrastées quant à l'articulation de l'adaptation avec l'atténuation : une première représentation repose sur

6 – Participation aux travaux du *Groupe de Réflexion et d'Action sur l'Adaptation au Changement Climatique* (Région Rhône-Alpes).

7 – Participation au comité de pilotage scientifique du stage d'une élève ingénieur d'Agro ParisTech à Alterre Bourgogne ayant pour thème : « *Adaptation au Changement Climatique en Bourgogne : impacts, vulnérabilités, adaptation* » (mars-août 2011)

8 – Participation en tant que membre du Conseil Scientifique du PNR aux travaux en matière d'adaptation.

9 – Participation à l'atelier prospectif « *Scénario 2020-2030 : vers un SCOT 2^{ème} génération* », Atelier d'Urbanisme de Tours, 25 mars 2010

le contexte législatif et les formes d'institutionnalisation entourant l'apparition des politiques climatiques locales, une autre s'appuie sur le constat d'une singularité de réflexions et de pratiques, bien distinctes de celles accompagnant l'atténuation et les réflexions en matière de politiques énergétiques. Ce qui conduit à deux interprétations distinctes sur les évolutions à venir des politiques climatiques locales :

- Celle d'une institutionnalisation en cours des politiques climatiques locales, où l'adaptation serait le second volet, actuellement émergeant, de politiques climatiques locales en cours de constitution. Ce décalage temporel résulterait du fait que le volet « atténuation » est outillé en termes de mesures, déjà étoffées, de dispositifs de pilotages et d'une reconnaissance politique, tandis que le volet « adaptation », actuellement embryonnaire, est perçu comme optionnel, ardu (absence de méthode et incertitude persistante) et moins encadré sur le plan réglementaire, toutes ces raisons conduisant à maintenir le « retard » de cette dimension dans les politiques climatiques.
- Celle d'une incompatibilité, relative ou absolue, entre les finalités et les moyens de mises en œuvre des actions visant l'atténuation et celles cherchant à s'adapter aux effets des changements climatiques. La différence entre les actions d'atténuation, appartenant à la catégorie de problèmes publics environnementaux, et celles d'adaptation, renvoyant davantage à une nouvelle catégorie de problèmes publics, suggérerait une « impensabilité » du volet « adaptation », et plus largement des politiques climatiques conçues selon le format des deux volets complémentaires, qui s'avèreraient alors être de « faux jumeaux ».

Conclusion : les changements climatiques, facteur de réorientation des politiques publiques ?

L'action sur les émissions de gaz à effet de serre, remettant en cause la quasi-totalité des activités humaines (industrie, transport, agriculture, bâtiment...), ne peut être pensée isolément, comme cela a été fait pour l'ozone, en tant que polluant isolable du reste du fonctionnement des sociétés modernes. Cet aspect-là du « problème climat » s'exprime particulièrement aux échelles locales, où il remet potentiellement en cause l'ensemble du fonctionnement socio-économique d'un territoire. Si les changements climatiques sont reconnus comme un nouveau problème nécessitant une action collective, les formes prises par la construction de ce problème sont-elles en mesure d'imposer une nouvelle logique face aux intérêts déjà constitués (qu'ils soient locaux ou nationaux), un régime climatique contraignant s'appliquant à d'autres poli-

tiques ? Les politiques climatiques locales actuellement formulées s'inscrivent dans la continuité et à la marge de l'action publique locale, mais n'apparaissent pas en mesure d'imposer des réorientations majeures ni même de soumettre à un débat, dont les termes seraient renouvelés, différentes visions de l'avenir des territoires, des réinterprétations des notions de progrès et de confort, ou des arbitrages entre ce qui constituent les « fondamentaux » à maintenir (ce qu'il n'est pas question d'adapter, les structures fondamentales des territoires) de ce qui peut être modifié. Dans les débats régionaux visant à établir des stratégies régionales énergie-climat, l'inaccessibilité de « points durs » essentiels du système énergétique national, comme la dépendance aux énergies fossiles ou l'avenir de la filière nucléaire, confirme le maintien, par des prérogatives nationales, de cloisonnements dans les modèles de conceptions et d'élaboration des politiques climat-énergie régionales.

Acquis en termes de transfert

De l'appropriation locale des enjeux à la formalisation des pratiques : les acteurs entre représentations et actions

Cette différence s'explique par la nature même des finalités divergentes de l'atténuation et de l'adaptation : alors que des objectifs globaux (« limitation de l'augmentation des températures à 2°C ») et nationaux (« Facteur 4 » pour la France) sont établis pour l'atténuation et déclinés de manière homothétique sur les territoires, les objectifs pour l'adaptation ne peuvent guère être établis globalement, en raison de la grande diversité de déclinaisons spécifiques des effets des changements climatiques sur les territoires. Si la reproductibilité des mesures d'atténuation apparaît relativement facilement envisageable (mesures sectorielles, système de comptabilité carbone...), les actions d'adaptation semblent résister davantage à la standardisation (tableau 3).

Tableau 3. Une territorialisation différenciée entre atténuation et adaptation (E. Richard & F. Bertrand, 2011)

	ATTENUATION	ADAPTATION
Objectifs quantifiés à des niveaux supérieurs	« 3x20 » (2020) / « Facteur 4 » (2050)	Absence d'objectifs quantifiés
Echelle des effets	Global	Local / Régional
Périmètres d'action	Sources et secteurs d'émission / Territoires administratifs possibles	Ensembles naturels / Unités géographiques Espaces des risques
Reproductibilité des solutions	Forte (bâti, transport, déchets...)	Faible

Traiter l'incertitude comme une ressource pour l'action

Pour les décideurs, s'adapter au changement climatique est loin d'être une démarche opérationnelle. L'adaptation recouvre des formes d'actions très variées (réactives, anticipées, etc.), dans de nombreux secteurs d'activités (agriculture, eau, énergie, transport, etc.), avec des problématiques très différentes selon les zones et les échelles géographiques concernées (montagnes, zones urbaines, zones rurales, etc.).

Le traitement de l'incertitude est une des difficultés fondamentales liées à la mise en œuvre de stratégie d'adaptation. En effet, une stratégie territoriale d'adaptation sous-entend une bonne connaissance des conséquences locales du changement climatique afin d'identifier au mieux ce à quoi il faudra faire face. Mais l'ampleur des impacts, liés notamment à l'intensité des efforts généralisés en matière d'atténuation, s'avère délicate à évaluer. Et la caractérisation exacte à l'échelle locale de ces impacts s'avère également très problématique, notamment car ils se situent au bout d'une « cascade d'incertitudes » (scénario d'émission, modèles climatiques globaux, régionalisation et modèles d'impacts), mais également parce que l'évaluation des vulnérabilités et des capacités d'adaptation des territoires et des sociétés face aux effets du changement climatique est difficile et encore balbutiante. Ces différentes sources d'incertitude ne doivent pas être perçues comme un frein à la prise de décision. Le défi posé par l'adaptation est au contraire de concevoir des politiques publiques qui loin de chercher à éliminer cette incertitude vise à la reconnaître (la prendre en compte et qualifier) comme une ressource pour l'action.

S'appuyer sur des organismes « intermédiaires » déterminants pour la mise à l'agenda

Faire exister localement le changement climatique comme problème public consiste à rassembler et à produire des connaissances de manière à caractériser les contributions territoriales aux émissions de gaz à effet de serre et les vulnérabilités induites par les effets des changements climatiques. Dans chacun des cas étudiés, les premières phases de ce travail sont alimentées, voire conduites par des organismes « intermédiaires » multi-niveaux au statut associatif ou multi-institutionnel¹⁰, et par des rapprochements plus ou moins formalisés d'acteurs locaux. Ces ensembles experts jouent le rôle de « passeurs » et de médiateurs, notamment entre acteurs techniques et politiques, dont le positionnement intervient à la suite d'un premier travail

10 – Dans les deux régions étudiées, les agences régionales de l'environnement assurent ces fonctions (Alterre Bourgogne et Rhonalpénergie-Environnement). A Lyon, on retrouve l'agence locale de l'énergie (Hespul) et l'agence d'urbanisme. Et à Montréal, le consortium Ouranos, bien qu'avec un caractère scientifique particulier, remplit également ces fonctions.

technique. Le rôle de ces « organismes frontières », en capacité de se charger de cette activité stratégique et indispensable de médiation, qui consiste tout à la fois à reformuler de façon audible les observations scientifiques et à faire reconnaître la permanence d'une part d'incertitude, est apparu déterminant dans le processus de mise à l'agenda et de construction locale du « problème climat ».

Quels territoires « pertinents » pour l'action climatique ?

La mise en œuvre de politiques climatiques locales nécessite certains moyens (humains, cognitifs, budgétaires) qui les rendent davantage accessibles à des collectivités d'une certaine taille. On peut sans doute parler d'une « taille critique » en-dessous de laquelle les politiques climatiques apparaissent moins évidentes, cet effet taille étant accentué par le seuil de 50 000 habitants fixé par le législateur comme limite au-dessus de laquelle il devient obligatoire de se doter d'une politique énergie-climat. Pour autant, les « petits » territoires ont toute leur place dans l'action locale face à l'enjeu du changement climatique. L'étude des mouvements des *Transition Towns* et des villes lentes donnent à voir des localités de taille modeste, qui apparaissent comme des lieux possibles de mobilisation et d'innovation sociale autour des questions énergétiques et climatiques et de l'adaptation en particulier. La mobilisation citoyenne et communautaire qui caractérise le mouvement des *Transition Towns* est associée à une prise en charge locale d'un destin commun ; elle s'est développée majoritairement en dehors des grands centres urbains, dans des territoires plutôt ruraux.

Le changement du climat conduit-il à changer de référentiel ?

À l'heure actuelle, les stratégies d'actions en France sont avant tout réactives, initiées par étape et visant des gains sur le court terme (sur la durée d'un investissement : exemple des canons à neige). Les acteurs ont des difficultés à remettre en cause un modèle de développement « qui marche bien actuellement » au regard des enjeux futurs, dans lequel ce dernier ne sera peut-être plus viable.

Les initiatives institutionnelles étudiées, à l'inverse de ce que donnent à voir certaines initiatives citoyennes, ne déboucheraient alors pas tant sur l'invention et la mise en discussion de projets de société soutenable en réinterrogeant la durabilité des trajectoires actuelles de développement territorial planifié, que sur un nouveau discours neutralisant assurant, par la maîtrise, protéger l'avenir en se prémunissant de l'inattendu (les stratégies d'adaptation, urbaines notamment, étant présentées comme garantes de la pérennité du développement et de la sécurité du territoire à long-terme). Pour le dire autrement, la perspec-

tive de bouleversements climatiques, loin de constituer un prétexte de remise en cause des rationalités à l'œuvre dans les pratiques de développement des territoires, fournirait plutôt une occasion de plus pour garantir la maîtrise du développement territorial, par la planification, constituant une forme de mise en scène d'une anticipation maîtrisée, quand bien même les effets réels de cette planification demeurent très peu interrogés.

Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Bertrand F., Rocher L. (Coord.), à paraître. *Les territoires face au changement climatique. Une première génération d'initiatives locales*, édition Peter Lang, Bruxelles.

Bertrand F., 2010. Changement climatique et adaptation des territoires. In : *Développement durable et territoire* (Zuindeau B., ed.), collection environnement et société, Presses universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, 339-350.

Bertrand F., Richard E., 2010. Adaptation des territoires insulaires : éléments de réflexion à partir de deux îles françaises (Ré et la Réunion, VertigO [en ligne], 10, (3), dossier « *Les petits territoires insulaires face aux changements climatiques : vulnérabilité, adaptation et développement* », <http://vertigo.revues.org/10473>

Semal L., Szuba M., 2010. Villes en transition : imaginer des relocalisations en urgence, *Mouvements*, n° 63, La Découverte, Paris, , 130-136.

Semal L., Szuba M., 2010. France qui décroît, France en transition. In : Rob Hopkins, *Manuel de transition. De la dépendance au pétrole à la résilience locale*, Écosociété, Montréal, 180-185.

Bertrand F., Rocher L., 2011. La prise en compte des risques associés au changement climatique dans les politiques locales, In : *Le changement climatique du méta risque à la méta gouvernance* (Labranche S., coord.), Collection « Sciences du risque et du danger », série Innovations, Éditions Tec & Doc – Lavoisier, Paris, juin 2011, 55-70.

Bertrand F., Rocher L., 2011. L'intégration du changement climatique dans l'action publique locale, facteur de renouvellement du développement urbain durable ?. In : *Le développement durable changera-t-il la ville? Le regard des sciences sociales* (Béal V., Gauthier M., Pinson G. eds.), Collection Dynamiques Métropolitaines, Presses Universitaires de Saint-Etienne, novembre 2011, 383-403.

Rocher L., 2011. Action locale et planification climatique, pratiques des collectivités et nouvelles responsabilités, La Semaine juridique Administrations et collectivités territoriales, n°50, 12 décembre 2011, 30-32.

Richard E., L'adaptation au changement climatique, nouveau critère de développement durable des territoires, à paraître. In : *Territoires de projets et développement territorial durable. Regards croisés franco-roumains*, (Petrea R., Filimon L. & Carrière J.-P., eds.).

Bertrand F., Richard E., 2012. Les initiatives d'adaptation aux changements climatiques : entre maintien des logiques de développement et renforcement des coopérations entre territoires, Territoire en Mouvement n°14 & 15, dossier « *Inégalités et iniquités face aux changements climatiques* », 138-153.

Bertrand F., Simonet G., 2012. Les trames vertes urbaines et l'adaptation au changement climatique : perspectives pour l'aménagement du territoire, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 12 | mai 2012, mis en ligne le 04 mai 2012. <http://vertigo.revues.org/11869> ; DOI : 10.4000/vertigo.11869

Bertrand F., 2013. Les collectivités territoriales françaises face aux changements climatiques. In : *Réchauffement climatique : un carbone qui sent le souffre* (Tabeaud M., coord.), Bulletin de l'Association de Géographes Français 2013-1, mars, 68-81

Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation

Bertrand F., 2011. 3 questions à..., Interview pour AIR, l'Association pour l'Innovation et la Recherche au service du climat, dossier « Les Régions et le climat », février 2011, <http://www.air-climat.org/dossiers/les-regions-et-le-climat/interview-2/>

Richard E., 2010. Lutte contre le changement climatique : le rôle essentiel de l'action locale, bulletin d'information de la SEPANT – Société d'Etude, de Protection et d'Aménagement de la Nature en Touraine, automne 2010.

Participations aux colloques nationaux ou internationaux

Bertrand F., 2010. Adaptation au changement climatique et trames vertes urbaines : perspectives pour l'aménagement et l'urbanisme. In : *Journée d'étude « Adaptation aux Changements Climatiques et Trames Vertes : Quels enjeux pour la ville ? »*, 1er Avril 2010, GIS Climat, Environnement, Société - ANR Trame Verte - LADYSS CNRS - MNHN - EIVP - REEDS/UVSQ, EIVP de Paris [<http://www.gisclimat.fr/journee-etudes-ACTV-bilan>]

Rocher L., 2010. La contrainte climatique, nouveau cadre normatif de l'action publique urbaine ? In : *Colloque de l'APERAU Internationale « Les nouvelles orientations de l'urbanisme et de l'aménagement : résurgence du scientisme ou nouveaux modèles ? »*, 6-7 mai 2010, Brest.

Bertrand F., 2010. L'adaptation au changement climatique : les défis d'une approche intégrée pour les territoires. In : *Séminaire « Adaptation au changement climatique en zones vulnérables »*, Cycle de trois séminaires Association NSS-Dialogues / GIS Climat-Environnement-Société / Institut des Sciences de l'Environnement de l'UQAM, 15 & 16 juin 2010, Paris. [<http://www.gisclimat.fr/seminaires-ACC-zones-vulnerables-bilan>]

Quenault B. & Bertrand, F., 2010. Vulnérabilité et résilience au changement climatique en milieu urbain. In : *Actes du XXIII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie « Risques et changement climatique »*, (Dubreuil V., Planchon O., Quénot H., et Bonnardot V., eds.), 1er- 4 septembre 2010, Rennes, 493-498.

Bertrand F., 2010. Comprendre les modalités d'appréhension et d'action territoriale face aux effets du changement climatique. In : *Séminaire Concertation Décision Environnement, « De l'international au local, la concertation accompagnement ou moteur de l'action sur le changement climatique ? »*, Compte-rendu, Séance 4 du 7 décembre 2010, Paris, MEDDM, 28-35 [www.concertation-environnement.fr].

Semal L., 2010. Les Villes en transition : un exercice de prospective radicale et citoyenne. In : *Séminaire « Villes post-carbone »*, Mission prospective du Ministère de l'Ecologie / ADEME / Université du Maine, 26 novembre 2010, Paris La Défense.

Bertrand F., 2011. Résilience des systèmes urbains au changement climatique : des conceptions théoriques aux applications pratiques. In : *conférence inaugurale au colloque international « Renforcer la résilience au changement climatique des villes : du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation »*, 7 & 8 juillet 2011, Université de Metz.

Richard E., 2011. Territorial adaptation to climate change: towards a renewal in planning practices and conceptions? In: *2011 UK Irish Planning and Research Conference, "Planning Resilient Communities in Challenging Times"*, 12-14 September 2011, University of Birmingham and Birmingham City University.

Rocher L., 2011. Cities facing climate change: Adaptation strategies, a challenge for urban planning. In: *2011 UK Irish Planning and Research Conference, "Planning Resilient Communities in Challenging Times"*, 12-14 September 2011, University of Birmingham and Birmingham City University.

Bertrand F., 2011. L'action des collectivités territoriales face aux changements climatiques. In : *journee de l'Association de Géographes Français « Changement climatique : un carbone qui sent le soufre »*, Institut de Géographie, 22 octobre 2011, Paris. [<http://association-de-geographes-francais.fr/spip.php?article175>]

Bertrand F., Richard E., à paraître. Essai de caractérisation de l'action des territoires face au « problème climat. In : *Actes du colloque international « Territoire et environnement : des représentations à l'action »*, 8 & 9 décembre 2011, Université de Tours, 121-132.

Bertrand F., 2012. Action publique locale et changement climatique, présentation lors des 33^{èmes} rencontres nationale des agences d'urbanisme (FNAU), Atelier « Ville poste-carbone : mesurer et accompagner le changement », 20 novembre 2012, Bordeaux.

Rapports de fin d'étude (mémoires de master, de DEA, thèses...)

Thèses

Semal Luc, 2012. *Militer à l'ombre des catastrophes. Contribution à une théorie politique environnementale au prisme des mobilisations de la décroissance et de la transition*. Thèse de doctorat en sciences politiques, Université de Lille, Lille, 668 p.

Richard Elsa, en cours. *Adaptation des territoires au changement climatique : vers un renouvellement dans les pratiques et conceptions en aménagement*. Thèse de doctorat co-dirigée par Corinne Larrue et Jean-Paul Carrière, Université de Tours.

Travaux de fin d'études d'étudiants en 5^{ème} année de génie de l'aménagement, Département d'aménagement de l'École Polytechnique de l'université de Tours (encadrement : François Bertrand et Elsa Richard)

Reboussin F., 2011. L'amélioration du bâti existant par l'isolation : analyse des déterminants de la mise en œuvre d'une efficacité énergétique, mémoire de Master SHS Mention *Villes et Territoires*, UMR CITERES – MSH de Tours, 127 p. + annexes.

Lesage M., 2011. Politique Climat-Energie et intercommunalités : quelles formes émergentes dans les petites villes ? Analyse comparative à l'échelle de deux petites villes et de deux intercommunalités, mémoire de projet de fin d'études, 5^{ème} année de génie de l'aménagement, Département d'aménagement de l'École Polytechnique de l'université de Tours, 99 p. + annexes.

Bauduin E., 2011. Préservation et valorisation des patrimoines naturels et culturels dans un contexte de changement climatique. Analyse comparative à l'échelle des Parcs Naturels Régionaux, mémoire de projet de fin d'études, 5^{ème} année de génie de l'aménagement, Département d'aménagement de l'École Polytechnique de l'université de Tours, 111 p.

Poulain A., 2011. L'adaptation au changement climatique, l'intégration des enjeux d'adaptation au changement climatique dans les exercices de prospective territoriale, mémoire de projet de fin d'études, 5^{ème} année de génie de l'aménagement, Département d'aménagement de l'École Polytechnique de l'université de Tours, 91 p.

Page P., 2010. Changement climatique et action locale. L'intégration des stratégies d'adaptation au changement climatique dans les politiques territoriales, mémoire de projet de fin d'études, 5^{ème} année de génie de l'aménagement, Département d'aménagement de l'École Polytechnique de l'université de Tours, 114 p. + annexes.

Filin D., 2010. Réduction des émissions de gaz à effet de serre et aménagement du territoire : une analyse macroscale et régionale de stratégies dites de « Facteur 4 », mémoire de projet de fin d'études, 5^{ème} année de génie de l'aménagement, Département d'aménagement de l'École Polytechnique de l'université de Tours, 104 p. + annexes.

Mémoires de stage d'étudiants de Master à l'Institut d'Urbanisme de Lyon (encadrement : Laurence Rocher –IUL)

Billon C., 2010. L'adaptation au changement climatique, des pratiques locales à la normalisation ?, mémoire et rapport de stage à Rhonalpénergie-Environnement (RAEE), Master 1 Urbanisme et Aménagement– Institut d'Urbanisme de Lyon, septembre 2010, 66 p. + annexes.

Tropini N., 2010. Les Opérations Programmées d'Amélioration Thermique et énergétique des Bâtiments – Une identité bousculée entre innovations et héritages, mémoire et rapport de stage à l'Agence Locale de l'Energie de l'Agglomération grenobloise, Master 1 Urbanisme et Aménagement– Institut d'Urbanisme de Lyon, septembre 2010, 61 p. + annexes.

Tartar E., 2010. Stratégie Développement Durable – Plan Climat Energie Communal, Rapport de stage de fin d'études à la Direction de la Construction de la ville de Lyon. Master 2 professionnel Urbanisme et politiques urbaines – Institut d'Urbanisme de Lyon, août 2010, 64 p.

Expertises

Participation au groupe de travail « Adaptation au changement climatique » du conseil scientifique de l'Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN),

Participation à l'Atelier de Réflexion Prospective ADAGE (2009-2010) « *ADaptation au changement climatique de l'AGriculture et des Écosystèmes anthropisés* » piloté par l'INRA, Tâche n°15 « *Adaptation et Territoire* »

Participation au groupe de travail partenarial en charge du suivi de l'état des lieux des recherches sur l'adaptation au changement climatique (ADEME, direction de la Recherche et de la Prospective)

Expertise pour les programmes de recherches « *Gestion et Impacts du Changement Climatique* » (MEEDDAT) (APR 2010 & 2012), « *Mettre l'innovation sur la trajectoire du facteur 4* » (ADEME 2011), d'Ouranos (Consortium sur l'adaptation aux changements climatiques, Québec)

Autres

Participation à l'organisation et aux travaux de la journée d'étude « *Changement climatique et planifications territoriales* », UMR CITERES / EA LERAD, Faculté de droit de Tours, 16 mars 2011

Bertrand F., 2011. Tours dans une société post-pétrole ou l'urbanisme face au défi de la décroissance énergétique, « café-géo » de l'Université pour Tous / Association Confluence, 18 janvier 2011, Tours.

Bertrand F., 2012. Construction et mise à l'agenda du « problème climat » dans les politiques des collectivités locales, présentation lors de la journée de lancement du projet « Mobiliser les agriculteurs dans les politiques climatiques locales », jeudi 3 mai 2012, Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers.

Richard E., 2011, Les effets du changement climatique. Comprendre, observer, agir, présentation aux rencontres « Climat » du PCT du Pays de l'Albigeois et des Bastides, Université d'Albi, 1^{er} juin 2010

Richard E., 2011, L'adaptation des territoires au changement climatique, nouvel enjeu pour l'action publique locale, 21^{ème} Séminaire Européen des Docteurs en Economie Régionale - SEDER, Université Montesquieu – Bordeaux IV, 28 juin 2011.

Rocher L., 2010. « Helga-Jane Scarwell et Isabelle Roussel (dir.), 2010, Le changement climatique : Quand le climat nous pousse à changer d'ère, Presses Universitaires du Septentrion, Lille, 358 pages », rubrique Lectures, revue Développement durable et territoires [En ligne], Vol. 1, n° 3 | décembre 2010, mis en ligne le 07 décembre 2010. URL : <http://developpementdurable.revues.org/8714>

Bibliographie

Pearce D., Markandya A., Barbier E.-B. 1989. *Blueprint for a green economy*, Earthscan Publications Ltd, London, 192 p.

Laganier R., Villalba B., Zuindeau B., 2002. Le développement durable face au territoire : éléments pour une recherche pluridisciplinaire. *Développement durable et territoires* [en ligne], 1, <<http://developpementdurable.revues.org/774>> (consulté le 21 mai 2013)

Schneider F., 2009. Sur l'importance de la décroissance des capacités de production et de consommation dans la Nord global pour éviter l'effet rebond. *In : La décroissance économique (Pour la soutenabilité écologique et l'équité sociale)*, (B. Mylondo, éd.), éditions du Croquant coll. Ecologica, Bellecombe-en-Bauges, France, 197-214.

QUEL CLIMAT À L'ÉCOLE ? LES « JEUNES » FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : octobre 2009

Montant du budget : 128 340 € TTC dont 100 000 € de l'ADEME

Coordinateur

Susan Kovacs, maître de conférences en sciences de l'information et de la communication,

Université de Lille Nord de France – Lille 3

Geriico (Groupe d'études et de recherche interdisciplinaire en information et communication)

UFR IDIST Bâtiment B5 - Université Charles-de-Gaulle - Lille 3

Domaine universitaire du « Pont de Bois »

rue du Barreau - BP 60 149

59 653 Villeneuve d'Ascq Cedex

Email : susan.kovacs@univ-lille3.fr

Partenaires

Sandrine Bernier, Aymeric Blanchet – Association pour la prévention de la pollution atmosphérique (APPA)

Laure Bolka Tabary, Sophie Chauvin, Béatrice Micheau – Université Lille Nord de France, Lille 3 Geriico

Mots-clés : changement climatique, développement durable, collégien, politique éducative, politique territoriale, sociologie de l'éducation, analyse sémio pragmatique, représentation sociale, appropriation

Objectifs des recherches

Dans ce projet nous souhaitons comprendre dans quelles mesures le système scolaire peut contribuer à créer un imaginaire collectif des problèmes climatiques, en particulier de l'adaptation. À quelles conditions et jusqu'où l'école

peut-elle constituer un lieu central pour un travail de mobilisation (cognitive, axiologique voire comportementale) autour des problèmes climatiques ?

Nos objectifs étaient :

- de comprendre comment les politiques climatiques et éducatives s'articulent à différents niveaux ;
- d'analyser l'offre de discours scolaires relatifs aux changements climatiques auxquels les collégiens enquêtés ont eu accès ;
- de contribuer à la compréhension des manières dont les jeunes peuvent interpréter et utiliser ces messages pour donner du sens aux questions climatiques.

Présentation des travaux

Introduction

Peu de recherches ont été consacrées à la production et à la circulation des discours sur l'environnement¹ et le réchauffement climatique au sein des établissements scolaires, non seulement dans les classes mais aussi parmi l'ensemble des activités et pratiques communicationnelles menées par les équipes et les partenaires parascolaires ou associatifs. L'école, en tant que lieu de transmission de savoirs et instance de socialisation des enfants, participe pourtant à la construction des normes et des représentations des élèves. Nous nous sommes attachés à identifier les mécanismes qui structurent la production et les usages des discours sur les enjeux climatiques et environnementaux à l'école.

Matériels et méthodes

Pour mener notre enquête de terrain, nous avons choisi 4 collèges (à Ville-neuve d'Ascq et à Valenciennes pour le Nord et à Strasbourg pour le Bas-Rhin) qui font preuve d'un volontarisme politique réel et reconnu en matière de sensibilisation aux enjeux environnementaux et climatiques. Notre méthodologie d'enquête a reposé à la fois sur un outil quantitatif (un questionnaire adressé à tous les collégiens) et sur des outils qualitatifs (entretiens, observations de cours et d'ateliers, analyses d'entretiens, de corpus et de pratiques). Nous

1 – Après avoir mené une pré-enquête au cours de laquelle nous avons découvert qu'aborder la question du changement climatique sans entrée en matière avait tendance à bloquer le discours parce que le thème ne correspondait pas à la construction ni à la catégorisation scolaire de ce thème, nous avons opté pour une entrée en matière plus large et générale, d'abord ciblée sur l'intérêt consacré à l'environnement ou au développement durable avant d'aborder le changement climatique.

avons privilégié cette approche mixte qui a permis de développer un panorama complet de la situation que nous avons observée.

41 entretiens semi-directifs ont été menés auprès d'acteurs du système scolaire des quatre établissements ainsi qu'auprès de décideurs politiques locaux, régionaux et nationaux directement concernés par la mise en place et le soutien de projets éducatifs portant sur l'environnement. À travers ces entretiens nous souhaitons comprendre la façon dont les acteurs décrivent l'accompagnement des collèves dans des projets de sensibilisation sur le climat, afin de caractériser la spécificité des approches régionales ou départementales selon les modèles de gestion, de management et de concertation adoptés ou préconisés.

En complément de ces données, le point de vue des collégiens a été pris en compte à la fois par questionnaire puis par entretiens semi-directifs. À travers le questionnaire, une analyse globale, statistique, a permis d'étudier un ensemble d'indicateurs de l'engagement des élèves sur les questions liées à l'environnement et au changement climatique, tandis qu'à travers les entretiens et les observations menées, un travail dans le quotidien des collèges nous a permis de recueillir le discours autour d'échanges plus ouverts et de confronter ces discours aux pratiques observées. 1 300 questionnaires ont été administrés. Nous avons interrogé par entretiens deux classes de 5^{ème} de trois établissements scolaires concernés.

Résultats

Politiques publiques : Agendas 21

Depuis près d'une décennie pour l'un et près de 5 ans pour l'autre, les départements du Nord et du Bas-Rhin ont fait des Agendas 21 un outil fédératif et intégratif des politiques publiques menées.

Les actions de lutte contre le changement climatique portées par les collectivités en direction des collèges oscillent entre l'exemplarité et la généralisation. Toutefois on observe la mise en place de programmes généralisés concernant l'ensemble du parc de collège (Nord), mais aucun programme généralisé n'est associé afin d'intégrer les usagers et les élèves.

Le volet sensibilisation est nettement plus développé dans le département du Bas-Rhin dans le sens où des dispositifs sont mis en place pour intégrer l'ensemble de la communauté éducative et les élèves dans la gestion des consommations via un accompagnement associatif. *A contrario* le département du Nord a fait le choix de mettre en place un monitoring via des entreprises extérieures pour gérer ses consommations, n'entraînant pas de dispositifs spécifiques à destination des élèves.

Les départements du Bas-Rhin et du Nord ont développé une offre directe à destination des établissements. Il existe ainsi peu de différence entre les départements du Nord et du Bas-Rhin sur la constitution de cette offre (mobilité des collégiens ; alimentation durable ; tri des déchets). Ces dispositifs sont ouverts aux établissements qui en font la demande et donc aux équipes et personnes intéressés au sein des collèges.

Toutes ces actions sont intégrées dans les Agendas 21 départementaux et certaines sont reprises spécifiquement pour le volet de lutte contre le changement climatique. Les collectivités sont, à l'heure actuelle, conscientes de la limite de la capacité d'action et d'appropriation de la part des collèges, les politiques généralisés étant celles où la collectivité peut en assurer l'entière réalisation ne nécessitant que très peu d'interactions avec l'établissement.

Agendas 21 scolaires

Les démarches d'Agenda 21 scolaires, délimitées par un cadre pédagogique national sont une opportunité de constitution de projets d'ordre intégratif facilitant l'interaction entre l'établissement et de nouveaux acteurs tel que le département. Les collèges sont sollicités sous la forme d'un appel à projet annuel ; ils s'engagent dans une démarche participative, avec un accompagnement pour définir les axes et les actions qu'ils souhaitent mettre en place.

Les possibilités de contractualisation et d'inclusion dans les projets d'établissement permettent d'inscrire de nombreuses actions ayant un impact bénéfique en matière de lutte contre le changement climatique ; actions pour lesquelles les élèves sont sollicités. Toutefois la visibilité de cet enjeu et son appropriation répond plus à une logique interne de l'établissement, qu'à l'imposition de la part de la collectivité d'enjeux qui lui sont propres. Nous avons ainsi largement observé que les enjeux sont reconstruits au sein de l'établissement et les problématiques reposées dans le cadre de la classe ou des équipes d'encadrement et éducatives.

Toutefois il est important de noter que les collectivités se heurtent à une difficulté propre à l'organisation des ressources humaines de l'Éducation nationale dans la construction et l'appropriation de ces démarches. En effet la logique de projet portée par les collectivités se trouve devoir être intégrée à un fonctionnement par cycle annuel, avec des discontinuités dans la gestion des personnels. Les collectivités ont largement insisté sur la difficulté de la continuation de l'action si un des membres de l'équipe qui y est impliqué vient à quitter l'établissement.

L'Éducation à l'Environnement pour un développement durable (EEDD)

La mise en place depuis 2004 en France des principes de l'éducation à l'environnement pour un développement durable à l'école offre un ensemble de facteurs d'incitation à l'élaboration de dispositifs pédagogiques transversaux et au renforcement d'une culture du projet au sein des établissements scolaires. Il a pourtant été observé que l'initiative individuelle, parfois élargie à des partenariats restreints, l'emporte sur le travail en équipe au niveau des questions environnementales. Dans certains cas pourtant (notamment au collège Clément, Valenciennes) se forme une « communauté de pratiques » avec mise en commun et mise à jour des savoirs, échange des informations, et partage de réseaux de contacts, y compris experts ou acteurs associatifs.

Les pratiques des enseignants, aussi diverses soient-elles, font ressortir une certaine liberté d'action qui permet de s'échapper des contraintes de l'organisation du collège et des limites d'une pédagogie traditionnelle. Les enseignants montrent qu'ils sont en demande d'une reconnaissance officielle dans leurs actions et qu'ils ont besoin d'un soutien réglementaire, notamment, afin de pouvoir accorder une certaine légitimité à leurs actions et la revendiquer.

Les messages des enseignants oscillent entre une volonté de sensibiliser aux à l'environnement, au changement climatique et au développement durable et une ambition à faire changer de comportements. En effet, les enseignants sont conscients des difficultés à mettre en place des enseignements et des projets qui articuleraient savoirs et savoirs faire ; les équipes doivent face à des ambiguïtés qui ressortent des textes officiels sur l'éducation à l'environnement pour un développement durable, qui se situent entre l'incitation aux gestes et l'apprentissage d'une démarche scientifique et critique. Le discours des enseignants montre d'une part une réticence à assumer un discours considéré comme trop militant, et d'autre part une hésitation à aborder le contexte sociopolitique du développement durable ou du réchauffement climatique. Le registre de l'action individuelle, plutôt que celui de l'action collective, est privilégié par beaucoup. Cette approche a tendance à accentuer une culpabilisation de l'individu ou de la famille vis-à-vis des problèmes environnementaux.

À chaque projet qui nous a été présenté au cours des entretiens, des limites et des freins ont été rencontrés (forces d'inertie, changements non-maîtrisés, imprévus, effets inverses à l'intention de départ, résultats non obtenus). Et pourtant, des expérimentations pédagogiques et des innovations se mettent en place afin de répondre aux nouveaux programmes d'enseignement, et d'envisager notamment l'élève lui-même en tant qu'acteur, mais aussi afin d'éviter les effets perçus d'un certain « endoctrinement » qui caractérise les actions de

sensibilisation à l'école primaire. Dans le cadre des enseignements disciplinaires également, certains dispositifs pédagogiques expérimentaux mettent à l'honneur une démarche d'investigation qui part des questionnements des élèves. Cette expérimentation pédagogique bouleverse les rapports traditionnels entre professeurs et élèves en privilégiant la construction active des connaissances, notamment dans le domaine du développement durable.

Supports et discours

La plupart des actions que nous avons observées s'appuient sur des supports variés, que ce soit des articles de périodique, des sites Internet, des manuels scolaires, des films documentaires, ou des supports moins traditionnels (costumes, objets, œuvres d'art). Le choix du support, qu'il s'agisse de supports à analyser ou à créer, est décisif car il contribue à orienter le regard de l'élève sur les questions environnementales, et il sert de point d'appui pour des activités variées, y compris des activités d'expression par lesquelles l'élève prend position ou exprime ses idées (newsletter, blog, site Internet du collège, etc.). Pourtant, le document tout seul ne permet pas de forger cet esprit critique et raisonné préconisé par les textes officiels.

Nous sommes partis de l'hypothèse que les contextes scolaires et extra-scolaires influent chacun sur la perception par les jeunes des enjeux climatiques, et qu'il ne faut donc pas négliger la construction de représentations en dehors du seul cadre éducatif. En effet l'imaginaire du climat présent dans les films de fiction et les émissions télévisuelles est effectivement très prégnant dans le discours des jeunes et peut parfois faire obstacle à l'appropriation des informations scientifiques.

Dans notre étude de ces différents supports d'information l'accent a été mis sur la hiérarchisation et la scénarisation des informations selon les objectifs pédagogiques ou ludiques des concepteurs. Les films et romans de science-fiction étudiés mettent souvent en avant une opposition entre une vision « providentialiste » du changement climatique, qui déresponsabilise l'homme et une vision de la responsabilité de l'homme. Cependant en règle générale c'est une vision sombre et dystopique qui domine dans les fictions sur le climat, ce qui a un impact certain sur les jeunes lecteurs/spectateurs et contribue parfois à une conclusion sur l'inutilité de l'action de l'homme.

Dans le corpus étudié d'ouvrages documentaires, de périodiques, de films ou d'émissions télévisuels et sites Internet, on retrouve une structuration binaire et dichotomique qui divise la question du climat en une série de « problèmes » suivis des « solutions » techniques ou technologiques. Une telle dichotomisation a tendance à créer une vision simplifiée des enjeux, notamment politiques ou humains, du changement climatique. De plus,

dans les émissions documentaires télévisuelles ou films documentaires diffusés à la télévision on retrouve des ambiances catastrophistes similaires aux récits de fiction. Les images de danger et de catastrophe montrées à l'écran restent parfois non expliquées, ce qui rend en effet difficile la distinction entre réalité et fiction.

Nos observations et les entretiens avec l'équipe nous ont montré que les enseignants éprouvent des difficultés à trouver des ressources pertinentes, d'un niveau adapté à l'âge des élèves et aux objectifs qu'ils se sont fixés. À défaut de critères de choix bien définis, parfois les enseignants s'appuient sur la notoriété de certains films ou ouvrages, même ceux (comme *Home*) qui restent difficiles d'accès aux élèves, tant au niveau du vocabulaire et de l'emploi des métaphores, qu'au niveau du sens des images. Dans le cadre du cours ce sont finalement les supports scolaires et éditoriaux traditionnels qui dominent (manuels, extraits de périodiques, captures d'écran de site web projetés), alors que la mise en place des projets s'appuie sur des supports très diversifiés, choisis souvent selon les critères d'interactivité et de créativité.

Appropriation par les élèves : questionnaire et entretiens

Le résultat du questionnaire, et le résultat des entretiens qui ont été effectués avec des binômes d'élèves de 5^{ème} montrent que les collégiens ne saisissent pas toujours très clairement les phénomènes scientifiques liés aux changements climatiques. Ils font ressortir une compréhension incomplète et confondent d'autres notions comme l'effet de serre. Leur intérêt pour la question est tributaire de leurs propres centres d'intérêt et points d'entrée personnels privilégiés (par exemple leur famille, leurs abonnements à des périodiques, leurs émissions télévisuelles préférées).

Il ressort globalement de nos données quantitatives que les collégiens portent assez peu d'intérêt spontanément pour l'environnement, ce que leurs actes témoignent et illustrent. Si l'idée de l'environnement est d'abord associée à des notions de nature, d'animaux, ces conceptions sont très vite rattrapées par les notions qu'inclut le développement durable diffusées aujourd'hui, comme la dégradation de l'environnement – et la culpabilité – et des injonctions fortes exprimées dans les discours de la sauvegarde. Il ressort des questionnaires des notions de culpabilité très fortement ressenties et très vite abordées. Dans les exercices de réflexion, notamment au cours de concours de dessins, les collégiens perçoivent l'environnement comme quelque chose de manichéen : ils séparent la réalité actuelle, perçue comme étant mauvaise ou en danger dont il importe de prendre conscience et la réalité hypothétique et souhaitée, autour de comportements écologiques et vertueux pour la planète et vers laquelle il importe de tendre.

Cependant les craintes exprimées en matière d'environnement aujourd'hui ne semblent pas constituer une menace pour l'avenir personnel des collégiens mais concernent plutôt l'avenir de leurs enfants voire de leurs petits-enfants. Ils se projettent peu, en partie peut-être parce que le mode de vie que leurs parents et les influences sociétales leur tracent depuis leur enfance semble difficile à remettre en question. Les questions de changement climatique ne touchent pas les collégiens dans leur chair et ils ne voient pas de conséquences sur leur vie de futurs adultes.

Des différents discours entendus par les collégiens, ces derniers semblent retenir des arguments graves, de changement climatique ou de dégradations de l'environnement. Les $\frac{3}{4}$ des collégiens pensent que les discours sont « assez alarmants » et qu'ils semblent toujours mettre en évidence une obligation, une nécessité d'agir dans tel ou tel sens, tels des comportements prescriptifs et ce sans explication, ni contextualisation. Ces discours sont dénoncés par les collégiens parce qu'ils ne sont pas perçus comme suivis de faits puis parce qu'ils semblent inadaptés, inintéressants, non entendables parfois. Pourtant, certains jeunes se sentent, au contraire, « encouragés à agir » mais ils sont très peu nombreux.

Discussion

La manière dont les collégiens énoncent et abordent les thèmes du changement climatique et du développement durable fait ressortir une compréhension des messages comme étant des prescriptions à mettre en œuvre pour préserver la planète. On note peu de connaissances des situations complexes qui se trouvent derrière ces stricts changements de comportements à attendre.

La majorité des collégiens se positionne entre deux extrêmes (devoir agir de façon urgente et impossibilité de pouvoir et de vouloir changer de modes de vie) en privilégiant l'idée qu'ils souhaiteraient agir plus tard en prônant une ou deux résolutions qu'ils ont évoqué dans ce qui existe déjà.

Au regard des entretiens menés avec les collégiens, il ressort que leurs souhaits de modes de vie sont exprimés à travers le regard d'adolescents qui projettent leurs pratiques actuelles ou fantasment leurs pratiques futures à travers les modèles et autres repères qu'ils ont intégré par leurs parents et qu'on leur propose dans notre société. Par exemple, limiter les consommations d'énergie peut paraître envisageable sous réserve que cela ne réduise pas le sentiment de confort.

Autrement dit, les questions environnementales, que ce soit le changement climatique ou le développement durable, peuvent intéresser en soi les collégiens mais les efforts qui leur sont demandés s'inscrivent en opposition du modèle que la société leur propose.

Conclusions et perspectives

Les témoignages recueillis et les observations menées offrent un bilan pourtant encourageant d'initiatives où l'élève s'implique, suscite des questionnements et des débats et négocie une forme d'*empowerment* dans le déroulement des cours ou des activités. Cette posture active constitue une composante essentielle des compétences liées à l'éducation au développement durable dans la mesure où la participation des citoyens aux processus décisionnels implique une forme d'engagement, une participation active, et une reconnaissance des liens entre science et société.

Sur le terrain, de nombreux projets et activités cherchant à développer l'investissement de l'élève dans la question de l'environnement se sont mis en place dans l'optique d'inciter à l'action environnementale. Il semble pourtant important, afin de développer l'esprit critique de l'élève tout en lui proposant des possibilités de faire, de mieux relier, et notamment à partir de l'école secondaire, savoirs et savoir-faire dans la conduite de ces projets. Tout en concrétisant les apprentissages, le geste environnemental peut permettre à l'élève de questionner les enjeux du développement durable et du changement climatique.

Les élèves sont demandeurs d'une meilleure médiation par l'adulte sur ces questions, pour « s'informer ensemble » car, conscients du foisonnement d'informations sur les médias aujourd'hui, ils ne savent pas où se tourner pour des sources fiables. Les élèves de collège sont en effet parfois nostalgiques des animations de l'école primaire auxquelles ils ont été exposés, et qui leur semblent permettre une approche intéressante et amusante des notions scientifiques. Si l'aspect politique des questions environnementales semble dépasser le collégien de 5^{ème}, certains dispositifs à l'école (sciences intégrées, ateliers où il y a un grand dynamisme) semblent susciter un intérêt chez des élèves disposés à s'intéresser à des controverses scientifiques ayant un impact sur leur vie quotidienne.

Acquis en termes de transfert

Quelles sont les principales conditions d'échec ou de succès des projets et autres actions menées dans le cadre de l'éducation au développement durable auprès de publics jeunes ? Comment les acteurs (dont les enseignants) participent-ils à la réussite des actions menées ?

Les clés de réussite : l'efficacité des partenariats pédagogiques et associatifs, une mise en situation concrète des élèves, des formes de valorisation permettant aux élèves de s'exprimer.

Tout d'abord certains projets ou actions sont perçus unanimement comme une réussite par les collégiens et/ou par les enseignants et ce dans trois types de situation décrites ci-après.

Exemple 1 : La figure emblématique du changement climatique au collège Clément à Valenciennes : un réseau de partenaires associatifs autour d'un enseignant charismatique, une mise en situation concrète des élèves par le biais d'expérimentations et actions de communication ; un contexte favorable créé par la présence des « sciences intégrées » :

Au collège Clément à Valenciennes, un enseignant de physique-chimie, par ses connaissances et son engagement sur le thème du changement climatique, ainsi que par son enthousiasme à mettre en œuvre des projets empiriques à destination des jeunes, en les impliquant directement, réussit à les sensibiliser en leur permettant de s'approprier certains enjeux. De plus, soit ses collègues le soutiennent dans sa démarche et s'impliquent auprès de lui en apportant leur contribution propre et ce sans concurrence marquée, soit ils ne participent pas mais ne dénigrent pas les projets. Cet enseignant a su impliquer un réseau de partenaires locaux associatifs et éducatifs mais aussi, la presse locale, pour valoriser et communiquer sur les projets de l'établissement. C'était en effet pour pérenniser les actions de cet enseignant, sur le point de partir à la retraite, que le collège a décidé de mettre en place un Agenda 21 scolaire. Si le succès des actions est largement tributaire du charisme individuel de cet enseignant, et si, comme on l'a vu, l'implication des élèves ressemble parfois à une forme de prosélytisme, l'accent est mis sur « l'empowerment » de l'élève, sa mise en situation concrète, sa découverte d'informations lors des séances d'un atelier, qui seront exploitées au sein de conférences faites par les élèves, d'un montage de site environnementaliste, de la participation à des séances d'information et de formation auprès des élèves plus jeunes et plus âgés. Cette imbrication d'actions expérimentales et communicationnelles permet aux élèves de réinvestir et de valoriser leurs connaissances.

Ce premier cas permet de mettre en évidence que pour réussir un projet, la clé peut résider dans la conjonction de plusieurs facteurs : privilégier des actions de terrain qui trouvent leur place dans la matière même de l'enseignant. Cela favorise une compréhension empirique des phénomènes environnementaux. De plus, l'engagement de l'enseignant dans ce thème, son savoir et la cohérence dans la mise en place de ces projets le rendent légitimes auprès de ses élèves comme auprès de ses collègues. Les collégiens impliqués n'hésitent pas à consacrer de leur temps libre à ces projets. Un terrain propice à l'appropriation de ce type d'actions est créé par la présence du programme des sciences inté-

grées, qui favorise la démarche d'investigation scientifique collaborative et la réflexion interdisciplinaire. Il importe d'ajouter le soutien moral voire même la participation des collègues à l'engagement de l'enseignant porteur du projet.

Exemple 2 : La légitimité de la discipline Sciences et vie de la Terre (SVT) au regard du Bulletin officiel et l'engagement de l'enseignant ; un relais efficace et complémentaire entre collègues de disciplines différentes, une valorisation des actions grâce à la participation à des concours nationaux

Au collège Roger à Strasbourg, une enseignante de Sciences et vie de la terre mène des projets environnementaux avec le soutien et la participation d'une enseignante d'EPS et de la documentaliste de l'établissement. Les projets s'appuient sur le thème du développement durable prévu au programme de SVT à partir duquel l'enseignante bâtit des projets de communication vers l'extérieur, notamment par le biais d'un concours : « Les trophées de l'environnement ». Plus précisément elle tente de sensibiliser les collégiens et de faire intégrer les messages environnementaux afin qu'ils s'approprient les enjeux de ces questions et qu'ils les diffusent à de tierces personnes par l'intermédiaire de valorisation attendue avec ce concours notamment.

Dans ce second exemple, trois éléments contribuent à ce que le projet environnemental porte ses fruits. D'abord l'enseignante bénéficie de la légitimité apportée par le Bulletin officiel qui inscrit officiellement le développement durable dans le contenu de son programme, ensuite elle est relayée par des collègues d'enseignements différents mais qui proposent un regard complémentaire sur les phénomènes, enfin l'appropriation du thème développement durable-changement climatique est favorisée par la valorisation qu'elle permet à ses collégiens quand elle les implique dans un projet de concours.

Exemple 3 : L'alliance d'enseignants de disciplines différentes qui optent pour un objectif commun en apportant une complémentarité d'approches pour aborder les phénomènes environnementaux dans leur complexité

Dans le même collège Roger ainsi qu'au collège Charles à Strasbourg, des enseignants de français, d'éducation physique et sportive et le documentaliste se sont regroupées autour de la volonté de sensibiliser les collégiens aux questions de développement durable et de changement climatique sous l'angle de la prise de conscience des enjeux et de la complexité de ces questions. La communication, l'échange et la compréhension des phénomènes constituent le fer de lance de leurs projets pour faire des collégiens de futurs adultes, acteurs de leurs choix, conscients et responsables du choix de leurs modes de vie mais sans prosélytisme.

Ce troisième cas fait ressortir un engagement personnel très fort, reconnu et valorisé par les collègues de ces enseignants. L'effort de travail en complémentarité est d'autant plus marqué que les programmes de français, d'éducation physique et sportive et de documentation laissent une marge de liberté assez importante en matière de sujets ou thèmes à aborder. Le sujet étant plus ou moins laissé à la liberté de l'enseignant, il peut se saisir de la question environnementale en toute légitimité. Enfin la complémentarité de ces enseignants est rendue possible par le fait que leur participation s'adapte et s'enrichit au contact des autres et aussi qu'elles sont peu nombreuses, ce qui évite les baisses de motivations et les possibilités de conflits d'idées, *etc.*

Ces trois types de situation font ressortir une certaine réussite de la part des enseignants qui voient leurs projets porter leurs fruits et des collégiens qui semblent sensibles à leurs actions. Cependant, un certain nombre de projets ne donnent pas autant de satisfaction. Nous allons aborder maintenant les conditions de l'échec de certains projets ou qui ont une portée très limitée.

Obstacles et freins : des projets isolés et éphémères, un manque de formation des enseignants, des objectifs variés et parfois contradictoires, les élèves peu engagés.

Les freins majeurs qui existent et qui ressortent à la lumière des analyses que nous avons réalisées sur les actions menées, portent d'abord sur les projets en eux-mêmes.

- **Aucun projet ne répond à autre chose qu'à des initiatives personnelles, spontanées et individuelles** : les différents projets mis en œuvres ne peuvent pas recouvrir une dimension fédératrice. Les initiatives apparaissent donc même un peu « flottantes » au sens où elles ne trouvent pas d'ancrage institutionnel et restent fragiles et dépendantes de la motivation et de l'engagement parfois temporaire et fluctuant de chacun sur une année. Les projets ne s'enracinent pas durablement dans les programmes ni dans les personnes porteuses et ne trouvent pas de stabilisation, ainsi les projets restent des initiatives originales, uniques et temporaires.
- **Les initiatives menées ne sont pas toujours inscrites dans les cours** et elles nécessitent de pouvoir dégager du temps et de la disponibilité dans les emplois du temps des enseignants impliqués comme de leurs collègues non impliqués et aussi de la part des collégiens.
- **Les approches restent floues, parcellisées et sans lien entre elles parce qu'elles recouvrent chacune une entrée du développement durable ou du changement climatique sans que l'on retrouve le**

sens global dans lequel l'action s'inscrit et prend tout son sens.

Les thèmes abordés peuvent ainsi passer de la sauvegarde de la nature (études des arbres, de l'écosystème, *etc.*) à l'éco-citoyenneté, en passant par l'alimentation, *etc.* qui sont autant de thèmes larges et difficiles à relier entre eux quand il n'y a pas d'explication fournie.

- **Les projets menés ont une portée éphémère et une traçabilité très limitée.** Si cela est voulu en tant que tel pour des projets d'expositions, de communications vers l'extérieur, *etc.* il faut aussi reconnaître que cela ne facilite pas l'inscription du développement durable et du changement climatique dans des modèles stables et institués.
- **Les projets menés ne font pas l'objet d'une évaluation officielle par les instances éducatives.** Cette absence ne permet alors pas de valorisation ni de reconnaissance officielle à ces actions, qui gardent un caractère d'invisibilité ou restent cantonnées à l'expression de projets très locaux inclus dans les programmes auxquels on ne porte pas plus d'intérêt que pour un autre.

Les freins existent également au niveau de la manière dont les acteurs perçoivent, se représentent et se saisissent des questions d'environnement :

- **Beaucoup d'enseignants déclarent ne pas être formés et compétents à parler de développement durable ou de changement climatique.** Ces thèmes leur sont imposés depuis peu dans leurs programmes sans qu'ils sachent comment s'en saisir ni comment faire passer des messages dessus. Les enseignants motivés par le thème, sans toujours le maîtriser complètement, vont tenter de monter des projets mais ils se lancent parce que le thème les intéresse.
- **Parmi les enseignants motivés, on note également des objectifs très différents recherchés derrière leurs initiatives menées.** L'éducation au développement durable, dans certains quartiers ou établissements, peut servir à constituer des portes de sortie pour une meilleure intégration des collégiens, donc servir plutôt à améliorer la cohésion sociale sans prendre en compte la dimension environnementale.
- **La moitié voire les 2/3 des enseignants des établissements étudiés ne se saisissent pas de la thématique de l'éducation à l'environnement et peuvent être démobilisateurs des personnes motivées.**
- **On constate un engagement tout relatif des collégiens à l'égard de l'EEDD.** Les collégiens baignent dans un discours ambiant imprégné de préoccupations environnementales et ils y sont familiarisés mais peu

d'entre eux y sont véritablement sensibilisés. Ainsi les projets dans lesquels ils peuvent s'inscrire dans leur établissement sont en général des sources d'expériences au cours desquelles ils « s'amuse » et se divertissent. Ils ne retiennent que peu de choses et ne comprennent pas nécessairement les liens entre le contenu environnemental qu'on leur présente et la discipline qui le diffuse.

Au final, il ressort de véritables volontés spontanées de se saisir des préoccupations environnementales, dans un contexte encore flou et mal délimité mais qui tend à chercher à s'inscrire dans des textes de lois et notamment également dans les programmes scolaires et aussi dans les discours et les pratiques. Cependant ces tentatives restent encore à institutionnaliser pour pouvoir véritablement prendre une place officielle et recouvrir une légitimité effective..

Liste des principales valorisations de recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Kovacs S., Bernier S., 2011. L'information environnementale et les dispositifs de communication « verte » à l'école : étude comparative de quatre collèges dans les départements du Nord et du Bas Rhin. *Recherches en communication*, 35, 155-170.

Kovacs S., 2012. Les paradoxes de la médiation environnementale. *Communication & Langages*, 172, dossier consacré au « Discours sur le changement climatique et jeunesse : formes et enjeux de la médiation », coordination S. Kovacs, 21-26.

Kovacs S., 2012. Engager et enrôler les jeunes dans la lutte contre le changement climatique : le documentaire jeunesse et l'attitude des collégiens d'aujourd'hui. *Communication & Langages*, 172, 69-81.

Fodor F., 2012. Les jeunes face au changement climatique dans l'imaginaire romanesque. *Communication & Langages*, 172, 83-95.

Micheau B., 2012. Le changement climatique dans la presse magazine : expliquer la menace, impliquer les individus, prédire la catastrophe. *Communication & Langages*, 172, 27-51.

Bolka-Tabary L., 2012. Le changement climatique à la télévision : de la science à la fiction. *Communication & Langages*, 172, 53-67.

Kovacs S., 2012. L'éducation au développement durable (EDD), entre agir et comprendre : étude au sein de quatre collèges français. *Spirale : revue de recherches en éducation*, 50, 225-237.

Kovacs S., Bernier S., *en préparation*. Le changement climatique à l'école. *Revue Pollution atmosphérique*, n° spécial climat.

Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation

Bernier S., 2012. Synthèse du rapport d'étude. Quel climat à l'école ? Les « jeunes » face aux changements climatiques. *Revue Pollution atmosphérique*, n° 213-214, 174- 182.

Participations aux colloques nationaux ou internationaux (communication orale et poster)

Kovacs S., Bernier S., 2010. L'information environnementale et les dispositifs de communication « verte » à l'école : étude comparative de quatre collèges dans les départements du Nord et du Bas-Rhin. *In : Communicating Green Communication d'organisation et environnement : évolution des approches, changement des pratiques*, 18-19 novembre 2010, Université Catholique de Louvain, Belgique.

Chauvin S., Bolka-Tabary L., Kovacs S., Micheau B., 2012. Table ronde « Aspects normatifs et visuels de la communication environnementale et sur le changement climatique », *Colloque CMN2012 : Communiquer dans un monde de normes : L'information et la communication dans les enjeux contemporains de la « mondialisation »* 7-9 mars 2012, Roubaix, colloque co-organisé par l'Association Internationale de Communication (ICA), le Groupement d'Études et de Recherches en Information et Communication (GERIICO) et la Société Française des Sciences de l'Information et de la Communication (SFSIC). Animation : S. Chauvin, avec la participation d'Andrea Catellani (LASCO, Université Catholique de Louvain), 9 mars 2012.

Communications dans les médias

Mise en ligne du rapport GICC sur le site de l'APPA

Le Monde, 10 mai 2013 : « En France, l'enseignement sur le climat est morcelé » : article comportant des témoignages de S. Kovacs sur les résultats de l'étude « Quel climat à l'école. »

Expertises

Suite à une demande de l'ADEME, présentation de l'ensemble des résultats avec un focus sur l'exploitation des questionnaires des collégiens pour améliorer la sensibilisation des jeunes en matière d'environnement et de développement durable. L'idée était de déterminer si le collégien pouvait constituer un vecteur intéressant pour favoriser une sensibilisation environnementale et inciter à des actes de développement durable.

Enseignements

S. Kovacs, Université Lille 3 : Cours dispensé sur les rapports entre sciences et société, Master « Documentation et médiation des savoirs pour l'enseignement et la recherche », depuis 2011 : « Savoirs savants, savoirs scolaires et vulgarisation » : Analyse des différents paradigmes de la socio-diffusion des connaissances à partir d'une étude de cas dans le domaine de l'éducation au développement durable et les enseignements sur le changement climatique en France : rapports et « écarts » entre savoirs savants et savoirs scolaires.

Autres

Kovacs S., 2013. Participation à la table ronde « Les éducations à : quelles questions de recherche ? » dans le cadre du séminaire de spécialité du Laboratoire CIREL (Centre Interuniversitaire de Recherche en Education de Lille), Université Lille 3 (Responsables : Nicole Tutiaux-Guillon, Laurence Loeffel) : « Analyser les 'éducations à...' : quels modèles, quelles méthodes ? », 14 février 2013.

Bolka-Tabary L., Kovacs S., Micheau B., 2013. Discours sur le changement climatique et jeunesse: formes et enjeux de la médiation. Séminaire du GRETS (Groupe Recherche Energie Technologie et Société), équipe de recherche en sciences sociales (sociologie, science politique, sémiologie, anthropologie, linguistique) appartenant à la Direction de la Recherche & du Développement d'EDF, 2 avril 2013.

SERVICES CLIMATIQUES

DRIAS - DONNER ACCÈS AUX SCÉNARIOS CLIMATIQUES RÉGIONALISÉS FRANÇAIS POUR L'IMPACT ET L'ADAPTATION DE NOS SOCIÉTÉS ET ENVIRONNEMENTS

Aspects administratifs et objectifs des recherches

Aspects Administratifs

Date d'engagement : 2 décembre 2009

Montant du budget : 822 000 € TTC dont 314 941 € TTC de subvention du service de la recherche du Ministère chargé du développement durable.

Cofinancements obtenus : Autofinancement des partenaires

Coordinateurs

Philippe Dandin

Météo-France, Direction de la Climatologie,

42, av. G. Coriolis

31 057 Toulouse Cedex 01

Email : philippe.dandin@meteo.fr

Partenaires

M. Déqué, J. Lémond, S. Planton – CNRM-GAME, URA1357, Météo-France, CNRS

C. Pagé – Sciences de l'Univers au CERFACS, URA1875

L. Li, T. Noel, R. Vautard – Institut Pierre-Simon Laplace, Université Pierre et Marie Curie

P. Dandin, L. Franchistéguy, M. Kerdoncuff, J.-P. Atchama, G. Baillon, B. Cassaigne, Ph. Dos, P. Jardin, D. Lacambre, M. Tamar – Météo-France, Direction de la Climatologie, Direction de la Production

Mots-clés : services climatiques, adaptation, projections climatiques, régionalisation, incertitudes

Objectifs des recherches

Développement d'un portail pour la mise à disposition d'informations climatiques régionalisées sur la France métropolitaine.

Présentation des travaux

Introduction

Le changement climatique dû à l'augmentation des gaz à effet de serre est en cours et ses effets commencent à se manifester. Les scientifiques annoncent des évolutions significatives dans les prochaines décennies (hausse des températures, périodes de canicule plus fréquentes, sécheresses sévères, *etc.*), avec une vitesse et intensité de changement dépendant du scénario de développement global utilisé. Les pouvoirs publics locaux et de nombreux secteurs de l'économie ont besoin de références climatiques précises pour dimensionner leurs projets et investissements portant sur le long terme. La question de l'adaptation au changement climatique nécessite des informations très localisées spatialement et à différentes échelles de temps.

Une part de ces informations est aujourd'hui produite par les laboratoires de recherche sur le climat, sous forme de projections climatiques. Compte-tenu de leur technicité, elles sont encore difficilement accessibles et exploitables par les acteurs socio-économiques. En faciliter l'accès est essentiel. Le projet DRIAS avait vocation à répondre à cette nécessité en permettant à tous les acteurs concernés par l'adaptation aux changements climatiques (collectivités territoriales, services de l'État, bureaux d'études, entreprises...) de consulter et obtenir aisément les données et produits issus de plusieurs modèles numériques de simulation climatique, permettant d'apprécier l'incertitude de ces projections. La mise en place d'un portail d'accès était l'objectif du projet.

Matériels et méthodes

Le projet DRIAS est organisé autour d'une équipe composée d'une part des centres producteurs français de simulations climatiques (CNRM-GAME, CERFACS, IPSL-LMD et LSCE) et d'autre part de la Direction de la Climatologie de Météo-France qui porte et coordonne l'action.

La supervision générale du projet a été assurée par le porteur de projet, la coordination et la réalisation des développements par l'équipe Dclim/POC de Météo-France. L'ergonomie et le graphisme ont été réalisés par la Direction de la production de Météo-France.

Les méthodes de gestion de projet pour des développements de services classiquement suivies à Météo-France ont été mises en œuvre par l'équipe projet ; les développements – y compris travaux d'ergonomie et graphisme – ont été assurés en interne, avec un recours à sous-traitance pour assistance à maîtrise d'ouvrage, pratique habituelle pour de pareilles actions. Des méthodes « agiles » de développement en informatique ont été employées.

Les itérations ont été nombreuses entre les parties prenantes du projet : équipe de développement au sein de Météo-France (Direction de la Climatologie, Direction de la Production, Direction des Systèmes Informatiques) et les partenaires des laboratoires, avec des jalons importants soumis aux utilisateurs à intervalles réguliers. Des décisions et arbitrages ont été proposés à un Comité de pilotage présidé par le ministère chargé du développement durable.

Associé à l'équipe projet, un Comité d'utilisateurs a été mis en place dès le début du projet : il constitue un échantillon représentatif des différentes communautés d'utilisateurs potentiels, contribue à exprimer les besoins, à valider les choix faits par l'équipe projet, à effectuer des tests, et ainsi à faciliter la communication entre producteurs et utilisateurs. Son apport est précieux. Sa mise en place a été souhaitée par le Conseil scientifique du GICC et par le Commissariat général au développement durable du MEDDE, qui tiennent à ce que tous les types d'utilisateurs soient satisfaits du portail : équipes de recherche, quelle que soit leur connaissance de la modélisation climatique, bureaux d'études, entreprises, associations, collectivités territoriales. Tous sont en effet confrontés à des études d'impact et à la définition de mesures d'adaptation au changement climatique.

Le Comité des utilisateurs a été mis à contribution au cours de la première année du projet, principalement à travers la participation à une enquête. Cette dernière a permis de mieux cerner les besoins, les pratiques et les habitudes des utilisateurs. L'analyse a notamment mis en évidence l'émergence de trois grandes catégories d'utilisateurs :

- des chercheurs et ingénieurs habitués à la manipulation des simulations et des données complexes ;
- des décideurs et gestionnaires, plus néophytes en informations climatiques mais confrontés, notamment, à la problématique d'adaptation des territoires ;
- des représentants de communautés scientifiques moins aptes à manipuler les résultats de scénarios, eux aussi désormais confrontés aux impacts du changement climatique dans leur domaine.

Tous sont néanmoins désireux de disposer d'une information plus intégrée et d'un accompagnement important.

En parallèle à cette enquête utilisateurs, d'autres travaux ont été menés visant à préciser les spécifications de l'ensemble du système à mettre en place, s'appuyant sur une analyse du paysage national et international et l'écoute-client

en matière d'adaptation. Dans un premier temps, une analyse des services climatiques existants a montré que jusqu'à présent, peu d'entre eux mettent à disposition un spectre large d'informations, allant des données numériques jusqu'aux produits graphiques. D'autre part, ces informations sont souvent thématiques ou sectorielles (hydrologie, agronomie, écologie...). Le projet DRIAS s'est donc proposé de réunir sur un même portail les données provenant de différentes sources et souligner ainsi un aspect de l'incertitude inhérente à la projection climatique. Cette diversité, source de richesse mais aussi de complexité, a justifié, dans une logique de clarification pour les utilisateurs la rédaction de différentes notes par l'équipe projet dont un glossaire réunissant les principales notions du projet.

Ces travaux préliminaires, nécessaires à la mise en place d'un système complexe devant rendre simple des notions ardues, ont servi de base pour les spécifications du futur portail. La réalisation a bénéficié de l'expérience de système de productions de produits climatologiques standards et de leur diffusion au moyen de portails web, acquise par Météo-France et notamment la Direction de la Climatologie. Elle a aussi bénéficié de l'infrastructure disponible dans l'Etablissement (silos d'archivage, serveurs...) : ce principe de réutilisation des acquis et de l'expérience des partenaires a guidé l'équipe projet dans un souci d'efficacité des développements. La réalisation a imposé des choix sur les simulations disponibles dans les équipes françaises de modélisation, dont la mise à disposition avait été envisagée initialement, mais qu'il a fallu renoncer à intégrer tant elles étaient disparates : des trois jeux de données, issues des principales expériences réalisées par les partenaires (jeu n°1 : expériences Météo-France ; jeu n°2 : expériences SCRATCH du CERFACS ; jeu n°3 : expériences issues du projet SCAMPEI), seul le 3^e, du fait de sa grande homogénéité, a été retenu pour présenter des produits uniformes. Un des enseignements de DRIAS est qu'il faut renforcer une plus grande cohérence des sorties de simulations (variables, unités, périodes...) qui seule permet d'offrir aux usagers des produits pouvant prendre en compte une part de l'incertitude liée à la modélisation ou aux scénarios. Enfin, le projet DRIAS a bénéficié d'une étroite coopération entre climatologues chercheurs et opérationnels, les uns plus experts en modélisation du système climatique, les autres plus habiles dans l'exploitation des informations du passé : les produits diffusés sont des données corrigées par une méthode qui mêle les informations du passé et du futur, et les uns et les autres se sont mutuellement enrichis. Les choix faits dans le système sont cohérents avec les choix et la démarche de la communauté scientifique, à l'instar du travail de synthèse réalisé pour les scénarios climatiques de

référence du XXI^e siècle dans le cadre du Programme National d'Adaptation au Changement Climatique¹, qui inspirent ceux du portail Drias^{les futurs du climat}. Cette étroite coopération et cette cohérence entre scientifiques et opérationnels, souhaitée et promue par le Cadre Mondial pour les Services Climatiques, a été une importante clé de réussite du projet et devra impérativement être conservée dans la suite.

Résultats et discussion

Le projet GICC DRIAS a permis de construire un service articulé autour d'un portail : Drias^{les futurs du climat} : <http://www.drias-climat.fr/>, qui offre un accès aisé aux modélisations climatiques régionalisées des équipes françaises.

Le portail DRIAS^{les futurs du climat}

L'essentiel des résultats du projet est visible et constitue le portail, ses contenus et les données pouvant être obtenues par les utilisateurs. Tout utilisateur, qu'il se contente de lire quelques pages, ou de découvrir quelques indicateurs, ou a fortiori qu'il commande et reçoive des données et produits numériques, en prend la mesure. Une autre composante, perceptible des utilisateurs du service de données, est liée à la mise en place d'un « service », principalement sous forme de « hotline » pouvant répondre aux utilisateurs et faisant la liaison, si besoin, avec les experts scientifiques. Enfin, une troisième catégorie de résultats du projet DRIAS est propre aux partenaires: il s'agit de protocoles et recommandations qui contribuent à améliorer la cohérence des sorties de simulations et leur intégration future dans un service destiné aux utilisateurs.

À partir d'un inventaire des différents jeux de données disponibles, et en s'appuyant sur les attentes des utilisateurs, ainsi que sur l'expérience primordiale des centres producteurs, le projet a conduit à une définition des contenus, avec un effort commun de standardisation mené par les laboratoires (grille, liste des variables, etc.). Le portail Drias^{les futurs du climat} permet ainsi de mettre à disposition une information climatique provenant de différents scénarios économiques de développement, de différents modèles de climat, et de différentes méthodes de descente d'échelle, avec une infrastructure évolutive qui permettra l'accueil de futures projections climatiques. Chacun des principaux laboratoires français de modélisation climatique, CNRM-GAME, CERFACS et IPSL a contribué au portail en y apportant d'une part des jeux de données mais également en participant à la réflexion sur les services à mettre en place.

1 – <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Le-climat-de-la-France-au-XXIe-.html>

Le portail web Drias^{les futurs du climat} est à l'interface entre le monde de la recherche et les utilisateurs et a l'objectif de mettre à disposition une information complexe de façon simple et didactique. Il comporte ainsi trois espaces :

- un espace « Accompagnement » permet de disposer par le biais de textes explicatifs, d'une foire aux questions, et d'un centre d'accompagnement, des informations nécessaires pour une bonne utilisation des services proposés par Drias^{les futurs du climat}.
- un espace « Découverte » propose des cartes interactives représentant différents indicateurs climatiques. Cet espace permet à la fois une analyse immédiate, et d'appréhender les jeux de données et produits accessibles sur le portail.
- un espace « Accès données et produits » permettant, après une étape d'identification, de commander et de télécharger les projections climatiques régionalisées sous format numérique (brutes ou corrigées par rapport à l'observation). Cet espace est principalement destiné aux utilisateurs avertis qui exploiteront par exemple ces informations pour des études d'impact.

Un service associé au portail a été parallèlement mis en place : une « hot-line » coordonnée par Météo-France accompagne les utilisateurs en cas d'interrogation technique ou scientifique. Les partenaires du projet contribuent aussi à cette « hot-line » pour les questions d'ordre scientifique. Une large gamme de futurs possibles pour le climat de la France au XXI^e siècle est à présent accessible à travers le portail Drias^{les futurs du climat}.

Un aperçu des incertitudes

Afin de donner à voir l'incertitude qui entoure les prévisions climatiques, le portail présente les simulations fournies sur la base de différents scénarios du GIEC², par différents modèles, pour différents variables et indices et selon différentes références climatiques et horizons temporels.

Différents scénarios

L'évolution du climat est incertaine en raison entre autre de l'évolution de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Pour cette raison, les projections climatiques tiennent compte de différents scénarios d'émission. Drias^{les futurs du climat} présente des projections qui s'appuient sur les scénarios, utilisés par le GIEC : A1B (intermédiaire), A2 (pessimiste), B1 (optimiste).

2 – Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Special Report on Emissions Scenarios – 2000

Différents modèles

Les modèles numériques de modélisation globale et les calculs effectués pour affiner les projections climatiques fournissent des résultats cohérents mais présentant des écarts : cette part d'incertitude doit également être considérée. Elle est illustrée par la comparaison de plusieurs simulations. Ainsi, la robustesse d'une analyse peut être évaluée à la concordance des résultats produits par différents modèles. Actuellement les données accessibles dans Drias^{les futurs du climat} sont principalement issues des modèles français, mais aussi canadien, allemand ou encore américains, analysés par les équipes françaises.

Différentes variables et indices

24 variables et indices climatiques standards sont accessibles sur la base des projections de températures et des précipitations : température minimale, température maximale, température moyenne, nombre de jours de température élevée, nombre de jours de gel, nombre de jours de fortes précipitations, cumul de précipitations, précipitations quotidiennes, etc. Leurs valeurs sont présentées par mois, saison et année. La résolution spatiale de la grille de représentation la plus fine est de 8 km : c'est une limite dictée par la méthode de régionalisation utilisée dans les simulations proposées, déjà très élevée pour des projections climatiques qu'il faut se garder d'interpréter à trop fine échelle.

Différents horizons temporels

La période de référence du climat passé n'est pas identique pour toutes les simulations (1961/1980, 1961/1990 ou 1961/2000) mais est toujours signalée sur les cartes afin de faciliter l'interprétation. De même, les projections climatiques ne sont pas toutes réalisées sur l'ensemble du XXI^e siècle. Aussi, Drias^{les futurs du climat} regroupe les échéances de projections futures en horizons : proche (2035), moyen (2055) et lointain (2085) du XXI^e siècle.

Drias^{les futurs du climat} offre ainsi un accès libre aux dernières avancées de la modélisation régionale et des services climatiques.

Conclusions et perspectives

Le projet DRIAS a permis le développement du portail Drias^{les futurs du climat} qui apporte une réponse à plusieurs catégories d'utilisateurs allant du grand public aux experts des impacts du changement climatique. Bâti sur une infrastructure solide et évolutive (permettant l'extension à l'outre-mer et l'accueil de futures simulations) qui tire partie des systèmes et des savoirs des équipes françaises de climatologie, ce portail est avant tout le fruit d'une dynamique renforcée et d'un effort conjoint entre les laboratoires français de modélisation climatique

et le service météorologique. Il faudra entretenir cette cohérence entre actions de recherche et fourniture de services, et la relation entre les partenaires qui a permis de marquer une étape importante dans la mise en place des Services Climatiques français au cœur de la stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. Si le projet DRIAS a donné comme résultat principal un portail, il reste à construire un service, à l'enrichir : c'est l'objet des actions portées par les partenaires du projet dans les mois qui suivront l'ouverture. Enfin, il faut également signaler d'autres bénéfices du projet : réalisation de simulations complémentaires, travaux sur la représentation des incertitudes, affichage auprès des utilisateurs d'une volonté de service commune aux chercheurs et ingénieurs climatologues, construction d'un service destiné à durer et à évoluer pour répondre aux attentes.

Passerelle entre les chercheurs et les utilisateurs, le portail *Drias^{les futurs du climat}* aboutit en effet à un service pérenne, améliorant encore la démarche d'adaptation, notamment en développant des produits innovants, en intégrant des contenus intégrés plus proches des problématiques des utilisateurs, et en ajoutant de l'information sur le passé et le présent. Météo-France s'est engagé à porter le service, soutenu par le ministère en charge du développement durable, et en forte cohérence avec les actions de la communauté de recherche française : les choix de simulations et produits, le rythme des mises à jour, l'accompagnement des utilisateurs seront déterminés par les partenaires, prenant note des travaux concertés des chercheurs, des attentes des utilisateurs et de la capacité de service offerte par le système porté par la Direction de la Climatologie de Météo-France. Les prochaines étapes verront l'élargissement du portail à l'Outre-mer et l'introduction des résultats d'une étude d'impact sur la ressource en eau, d'intérêt général. Au-delà de 2013, d'autres fonctionnalités et produits seront intégrés. Le mode de gouvernance approprié à cette action inter-organismes, servant les intérêts du pays, associant la recherche et les opérations, associera étroitement les parties prenantes du système, à l'instar de ce qui s'est déroulé lors du projet DRIAS..

Acquis en termes de transfert

Le projet DRIAS avait initialement deux objectifs principaux en termes de transfert :

- contribuer à renforcer la liaison et la cohérence des réalisations entre les principaux laboratoires de modélisation climatique français pour valoriser et améliorer encore leurs travaux de recherche et de ce fait les possibilités d'apporter les connaissances consolidées aux utilisateurs ;

- mettre en place une interface entre le monde de la recherche et les utilisateurs pour faciliter l'accès aux informations disponibles sur cette thématique.

Ces deux objectifs ont été globalement largement atteints même si des axes de progression sont d'ores et déjà identifiés.

Collaboration entre les laboratoires

La collaboration entre les différents laboratoires contribuant au projet DRIAS existait avant le lancement du projet. Elle portait principalement sur les travaux de modélisation climatique, de réalisation de simulations coordonnées et d'analyses communes des résultats de ces simulations.

L'objectif du projet concernant cette collaboration était différent : il s'agissait de valoriser les travaux menés au sein des différents laboratoires par une mise en commun des résultats obtenus et un accès facilité à l'ensemble des données et ce, indépendamment de l'origine des données. La mutualisation de l'information issue des différents laboratoires s'est faite en plusieurs étapes dont le recensement des différentes simulations disponibles au sein des laboratoires, la définition des niveaux de référence pour les jeux disponibles (brut-1, corrigé-2, indices-3) et des listes de variables et indices communs aux équipes, des spécifications sur les formats, les unités, les calendriers. Cet objectif de mutualisation et de normalisation a été largement atteint : un utilisateur via le portail *Drias^{les futurs du climat}* peut accéder indifféremment aux sorties des modèles de simulation climatique des laboratoires impliqués dans DRIAS et ainsi mener les inter-comparaisons de modèle de son choix, les données étant même disponibles sur une grille commune. Du côté des producteurs de simulations, il est aujourd'hui, du fait de l'existence de *Drias^{les futurs du climat}*, encore plus évident que les travaux doivent être très cohérents (sorties des modèles, choix des expériences,...).

Il reste évidemment des axes d'amélioration possibles concernant la méthodologie suivie. Le premier axe concerne l'harmonisation des formats utilisés au sein des laboratoires. L'harmonisation de ces formats permettrait de diminuer les coûts de développement pour l'intégration des sorties de modèle au sein de la base de données DRIAS, la multiplication de ces formats impliquant des filières de traitement différentes et donc des coûts et délais pour la prise en compte de ces données. Un effort au sein de la communauté recherche a été mené ces dernières années pour les simulations globales intégrant l'exercice CMIP5 (mise en œuvre des Earth System Grid Datanode). Une approche similaire pourrait être menée pour les simulations régionalisées françaises.

Le second axe concerne la préparation de données et produits prêts à être intégrés dans le portail Drias^{les futurs du climat} ; il comprend notamment le calcul des indices climatiques associés ainsi que le contrôle des données issues des simulations. L'intégration des filières de contrôle et de calcul d'indices climatiques au sein des modèles eux-mêmes assurerait une meilleure prise en compte future de ces données au sein du référentiel DRIAS. DRIAS invite à poursuivre la réflexion menée en commun entre climatologues modélisateurs et opérationnels pour parfaire l'interface entre la modélisation et la diffusion de produits : l'enjeu est de faciliter une intégration (à rythme approprié) des principaux travaux concertés de la recherche française dans ce système de diffusion au bénéfice de tous. Des projets tels qu'INVULNERABLE ou SECIF destinés à proposer des produits adaptés à des industriels, ou des projets visant des secteurs thématiques, tels CLIMATOR ou CLIMSEC, peuvent fournir des prototypes pour de futurs produits qui intégreraient le portail Drias^{les futurs du climat}. L'appel d'offres GICC 2012 a reçu de nombreuses propositions qui ont cité la perspective de transfert de certains résultats vers Drias^{les futurs du climat}.

La dynamique mise en œuvre pendant le projet devra être entretenue sous une forme encore à définir à ce jour, cette dynamique étant un élément clé pour garantir que le portail Drias^{les futurs du climat} continuera à jouer son rôle de valorisation des travaux de recherche des laboratoires.

Interface entre le monde de la recherche et les utilisateurs

La mise en œuvre du portail Drias^{les futurs du climat} constituait le livrable principal du projet. Ce portail ouvert en juillet 2012 permet d'assurer l'interface entre le monde de la recherche et les utilisateurs, ces derniers s'adressant auparavant directement aux équipes de recherche.

Ce portail va donc permettre dorénavant de soulager les équipes de recherche sur ce volet et la plateforme Drias^{les futurs du climat} va constituer à présent un socle sur lequel les équipes de recherche vont pouvoir s'appuyer pour valoriser leurs futurs travaux.

Le recensement du besoin des utilisateurs a été opéré pendant la durée du projet via le Comité des utilisateurs. Il faudra à présent conserver cette dynamique et poursuivre le dialogue établi avec des modalités encore à préciser. Le service DRIAS qui est d'ores et déjà en place (« hot-line », formation) contribuera aussi à cette action de recensement des besoins utilisateurs. Les premiers mois de service semblent confirmer les appréciations très positives des utilisateurs : les inscriptions pour commander des données sont nombreuses,

des questions pertinentes sont posées, qui montrent combien l'accompagnement mis en place est essentiel – et à développer. L'existence de Drias^{les futurs du climat} va certainement contribuer à faire émerger une strate nouvelle d'acteurs intermédiaires, qui solliciteront de façon plus affûtée la recherche climatique et inversement seront mieux en mesure de répondre aux attentes des élus et des citoyens sur la question complexe de l'adaptation. Les perspectives dressées par la recherche, pour répondre au développement des services climatiques, telles qu'exposées au niveau européen dans les prospectives de la JPI Climate ou d'Horizon 2020, seront confortées par les retours du terrain, et peut-être précisées pour les territoires français par l'expression d'attentes particulières.

Liste des principales valorisations de recherches

Articles scientifiques publiés, sous presse, soumis et en préparation

Publié

Lémond J., Dandin Ph., Moisselin J.M., Franchistéguy L., Kerdoncuff M., 2010. DRIAS : une composante des services climatiques français, 23^{ème} colloque AIC - Risque et Changement Climatique, 1-4 septembre 2010, Rennes, 337-342.

Lémond J., Pagé C., Déqué M., 2011. Le climat futur des régions méditerranéennes françaises : quelles tendances ? *Forêt Méditerranéenne*, XXXII (2), 205-213.

Lémond J., Dandin Ph., Planton S., Vautard R., Pagé C., Déqué M., Franchistéguy L., Geindre S., Kerdoncuff M., Li L., Moisselin J. M., Noël T., and Tourre Y. M., 2011. DRIAS: a step toward Climate Services in France, *Advances in Science and Research*, 6, 179-186, doi:10.5194/asr-6-179-2011, <http://www.adv-sci-res.net/6/179/2011/asr-6-179-2011.html>

Soumis

Vautard R., Noël T., Li L., Vrac M., Martin E., Dandin Ph., Cattiaux J., Joussaume S., *en révision*. Climate variability and trends in downscaled high-resolution simulations and projections over Metropolitan France. *Climate Dynamics*.

En préparation

Lémond J., Planton S., Ha-Duong M., Dandin Ph. Interpretation of climate change in Europe using maps of analogues.

Articles de vulgarisation

Dandin, P., 2009. DRIAS. In : *Etudes françaises sur l'adaptation au changement climatique, dossier préparé pour l'événement parallèle du 11 décembre 2009. Conférence des Nations Unies sur le Changement Climatique, 7-18 décembre 2009, Copenhague, AFPCN (Association Française de Prévention des Catastrophes Naturelles), 55. Versions Fr et UK.*

Article DRIAS newsletter GICC n°6, juillet 2010, consultable via le lien <http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/370#drias>

Article DRIAS newsletter GICC n°8, mai 2011, consultable via le lien <http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/366#drias>

Référencement du projet DRIAS au 6^{ème} Forum Mondial de l'Eau, Marseille, 12-17 mars 2012, <http://www.solutionsforwater.org/solutions/drias-a-step-toward-climate-services-in-france>

Participations aux colloques nationaux ou internationaux

Communications orales

Pagé C., Dandin Ph., Kerdoncuff M., Delecluse P. *Séminaire européen « Climate Services »*. KNMI, 11 septembre 2009, De Bilt, Pays Bas.

Lémond J., Dandin Ph., Moisselin J.M., Franchistéguy L., Kerdoncuff M., Le projet DRIAS : une composante des services climatiques français. *Colloque AIC*, 1-3 Septembre 2010, Rennes, France.

Lémond J., Dandin Ph., Moisselin J.M., Franchistéguy L., Kerdoncuff M., Pagé C., Vautard R., Déqué M., Planton S. DRIAS project: A component of French Climate Services, *10th EMS - 8th ECAC*, ETH, 13-17 September 2010, Zurich, Swiss.

Lémond J., Pagé C., Déqué M. Le climat futur des régions méditerranéennes françaises : quelles tendances ? *Colloque Observer et s'adapter au changement climatique en forêt méditerranéenne*, Hôtel de Région, 30 Novembre-1er Décembre 2010, Marseille.

Lémond J., Dandin Ph., Planton S., Pagé C., Vautard R., Franchistéguy L., Déqué M., Kerdoncuff M., Li L. DRIAS Project: providing Regional Climate Informations over France. *11th EMS - 10th ECAM*, 12-16 September 2011, Berlin, Germany.

Lémond J., Planton S., Ha-Duong M., Dandin Ph. Interpretation of climate change in France using city analogues in the DRIAS climate services project. *11th EMS - 10th ECAM*, 12-16 September 2011, Berlin, Germany.

Lémond J., Dandin P., Planton S., Vautard R., Pagé C., Déqué M., Franchistéguy L., Kerdoncuff M., Li L., Noel T. Le portail DRIAS : Mise à disposition d'informations climatiques régionalisées pour les études d'adaptation et d'impact du changement climatique sur le territoire français. *Colloque de l'AIC 2012*, 5-8 septembre 2012, Grenoble.

Dandin P., Lémond J., Planton S., Vautard R., Pagé C., Déqué M., Franchistéguy L., Kerdoncuff M., Li L., Noel T. DRIAS Climate service: Providing regionalised climate informations for impact studies and adaptation in France, *EMS/ECAC 2012*, 10-14 septembre 2012, Lodz.

Poster

Pagé C., Lémond J., Geindre S., Dandin P., Franchistéguy L., Kerdoncuff M., Som de Cerff W.J., Plieger M., Deandreis C., 2011. Initiatives toward Climate Services in France and in the European Community, *In: WCRP Conference*, 24-28 octobre 2011, Denver, USA.

Communications dans les médias

Conférence de presse

Conférence de presse lancement officiel du portail DRIAS^{les futurs du climat}, Météo-France, Saint-Mandé, 24/07/12 (14 journalistes). Information diffusée sur le portail du MEDDE (25/07) : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Ouverture-du-portail-Drias-les.html> et sur le Portail du Gouvernement (27/07) : <http://www.gouvernement.fr/gouvernement/drias-des-previsions-climatiques-regionales-a-long-terme-a-disposition-sur-internet>.

Radio

France Info, 24/07/12, «Météo-France met en place un outil de modélisation du climat ».

France Inter (07h), 25/07/12, « Le site drias-climat.fr ».

RFI (07h), 25/07/12, « DRIAS ou les prévisions climatiques sur 50 ans ».

France Inter « On verra ça demain », 08/08/12.

Télévision

France 2, émission Télématin, 25/07/12, « Le futur du climat » .

BFM TV, 25/07/12, « Des canicules de plus en plus fréquentes ».

France 2, JT 13h, 25/07/12, « Prédire la météo du futur ».

France 3 Midi Pyrénées, 25/07/12, « Quel climat en 2035 ou 2055 ? ».

France 3 Franche-Comté, 27/07/12, « La Franche-Comté sera assommée par la chaleur ! ».

Internet

lemoniteur.fr, 24/07/12, « Intégrer le changement climatique dans les projets de construction ».

lafranceagricole.fr, 24/07/12, « Des prévisions régionales à très long terme sur internet ».

20minutes.fr, 25/07/12, « Quel temps fera-t-il en 2035, 2055 ou 2085 ? ».

desaunay.com, 25/07/12, « Le changement climatique près de chez vous ».

france3.fr, 29/07/12, « Les climatologues anticipent la météo ».

La TV du web, 01/08/12, « Le changement climatique – Drias : un portail dédié au changement climatique ».

Presse papier

Le Parisien, 25/07/12, « Quel temps fera-t-il en 2035 ? ».

Le Figaro, 25/07/12, « Connaître le climat de sa région en 2035 ».

Courrier de l'Ouest, 26/07/12, « On connaît déjà le temps qu'il fera en 2085 ».

Le Midi Libre, 28/07/12, « Prévisions sur le très long terme : il va falloir agir ! ».

Le Journal de l'île de La Réunion, 31/07/12, « Le futur du climat étendu à l'outre-mer à partir de 2013 ».

Sud-Ouest, 05/08/12, « D'un simple clic, tous sur les climats futurs ».

L'Usine à GES, N°88, page 2, juillet 2012.

AFP, 24/07/12, « Des prévisions climatiques régionales à long terme à disposition sur le net ».

Agra Fil, 25/07/12, « Météo-France met en ligne les données sur le changement climatique ».

INDEX DES MOTS-CLÉS

Mots-clés	Pages
accords sectoriels	13
action publique locale	173
adaptation	61, 113, 129, 143, 173, 213
adaptation de la gestion forestière	81
adaptation des systèmes d'élevage	81
alpages	81
analyse intégrée	23
analyse sémio pragmatique	195
appropriation	195
artificialisation	129
attaques biotiques	97
atténuation	37
budget carbone	37
Burkina Faso	143
changement climatique	49, 61, 97, 113, 129, 155, 173, 195
climat	13, 61
collégien	195
commerce international	49
concurrence	13
confortement	113
consommation	37
convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.....	49
crises climatiques	143
développement durable	195
dimensionnement	113
droit international	49
dynamique forestière	81
échelles	173
écosystèmes alpins	81
écotones	81
ensembles de simulation et optimisation robuste	23
équilibres avec contrainte d'émission couplée	23
équilibres économiques internationaux	23
érosion	129
exploitation de modèles en ligne	23
fièvre de la vallée du Rift	61

Flandre	143
forêt	49, 97
franchissement	113
génie côtier	113
gestion sylvicole	97
Grèce	143
houle	113
impacts des changements climatiques	23, 113
incertitudes	61, 213
individus	37
insectes	97
interdisciplinarité	129
La Nouvelle Orléans	143
littoral	129
maladies infectieuses à vecteurs	61
Maldives	143
marée	113
mécanisme de développement propre	13
ménages	37
migrations climatiques	143
migrations environnementales	143
milieux	129
modélisation	97
négociations climatiques	13
négociations internationales	49
niveau moyen de la mer	113
observations à long terme	81
Organisation Mondiale du Commerce	49
organisations internationales et européennes	143
outils méthodologiques	155
partenariat opérationnel collectivités/recherche	155
pastoralisme	61
pathogènes	97
PCET	173
politique éducative	195
politique territoriale	195
politiques publiques	143
pratiques pastorales	81
prise en compte des incertitudes	23
productivité	97
projections climatiques	213

protocole de Kyoto	13, 49
réchauffement climatique	81
recherche participative	129
régionalisation	61, 213
relations internationales	49
renforcement	113
repli stratégique	113
représentation sociale	195
ressources en eau	155
risques	129
Sahel	61
sécheresse	81, 97
Sénégal	61
sensible	129
services climatiques	213
sociologie de l'éducation	195
SRCAE	173
stabilité	113
stratégie	61
stratégies « post carbone »	173
structure côtière	113
submersion	129
surcote	113
territoires	173
transfert international de technologie	13
travaux maritimes	113
Turquie	143
Union européenne	49
végétalisation	155
vulnérabilité	129, 143, 173

Achévé d'imprimer en juillet 2013
sur les presses de Printcorp
à Saint-Brieuc

dépot légal : 3^{ème} trimestre 2013

Maquette et réalisation : Inzemoon
tél : 06 75 24 19 30
www.inzemoon.com
contact@inzemoon.com

Le programme de recherche «Gestion et Impacts du Changement Climatique» (GICC) est l'un des programmes de recherche financés par la Direction de la Recherche et de l'Innovation, du Commissariat Général au Développement Durable au sein du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE).

Lancé en 1999, le programme a pour objectif de développer les connaissances en appui aux politiques publiques en considérant le changement climatique sous l'angle de ses impacts, de l'adaptation nécessaire pour y faire face et des mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre exigées. Pour cela, il mobilise conjointement des équipes de différentes disciplines : sciences physiques et biologiques pour la connaissance des impacts d'une part, sciences économiques, humaines et sociales au regard de l'atténuation et de l'adaptation d'autre part.

Une dizaine d'appels à projets ont été lancés depuis le lancement de ce programme. Cet ouvrage présente les synthèses des quatorze projets qui, sélectionnés en 2008, se sont achevés en 2012. Des projets portent sur des mises en œuvre de l'atténuation, d'autres, plus nombreux, sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique alors qu'un projet ouvre la voie vers les services climatiques.

