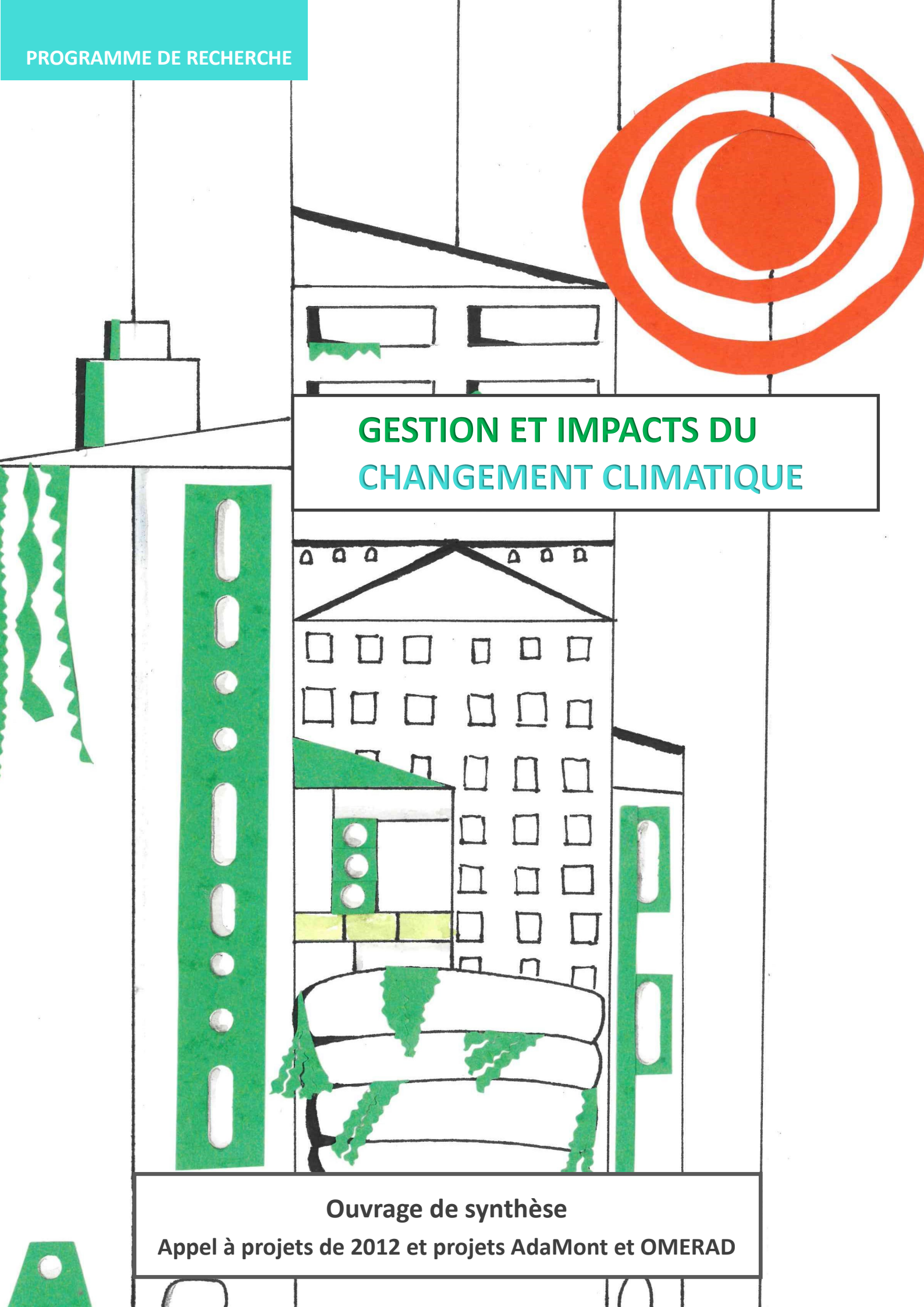
PROGRAMME DE RECHERCHE



GESTION ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ouvrage de synthèse

Appel à projets de 2012 et projets AdaMont et OMERAD

© GIP Ecofor, Ministère de la Transition Écologique, 2021, 1ère édition.

Citation recommandée pour l'ouvrage :

Prigent J., Cluzel M., 2021. Ouvrage de synthèse de l'appel à projets de recherche de 2012 et des projets AdaMont et OMERAD du programme Gestion et impacts du changement climatique. GIP Ecofor et Ministère de la Transition Écologique, Paris.
ISBN n° 978-2-914770-15-6

Ministère de la Transition Écologique
Service de la Recherche et de l'Innovation
Tour Séquoïa
92055 La Défense cedex

GIP Ecofor
42 rue Scheffer
75116 Paris
secretariat@gip-ecofor.org
01 53 70 21 70

Pour obtenir cet ouvrage en version numérique :
http://www.gip-ecofor.org/gicc/

Remerciements et relecture :

Claude Millier, Pascale Ebner, Morgane Colombert, Eric Duviella, Denis Ruelland, Philippe Dandin, Annabelle Amm, Viviane Appora

Maquette et réalisation : Julie Prigent, Marie Cluzel

Illustrations : © Lucie Prigent

Ouvrage de synthèse et valorisation des projets GICC de l'appel à projets de recherche de 2012 et des projets coopératifs AdaMont et OMERAD

GIP Ecofor

Ministère de la Transition Écologique

Organisation du programme de recherche

Le programme était piloté par le Comité d'orientation, composé d'organismes, soutenu par un Conseil scientifique composé d'experts scientifiques du domaine. Il était animé par le ministère chargé du Développement durable[1] et par le groupement d'intérêt public (GIP) Ecofor. Les projets ont été 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'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie[2] (ADEME), l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES) et la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB).

Comité d'orientation

Présidé par la chef du service de la Recherche à la direction de la Recherche et de l'Innovation (DRI) du ministère en charge du Développement durable, Claire Hubert, le Comité d'orientation réunissait en 2012 les représentants des organismes suivants :

ADEME, Agence de l'eau Seine-Normandie, Agence nationale de la recherche (ANR), Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), Caisse des dépôts et consignations (CDC) climat, Conservatoire du littoral, Entreprises pour l'environnement (EpE), FRB, GIP Ecofor, groupement d'intérêt scientifique (GIS) Climat-Environnement-Société[3], Hélio International, Institut de veille sanitaire (InVS)[4], Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI), Institut national de la recherche agronomique (INRA)[5], Institut national des sciences de l'Univers (INSU) du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Institut national des sciences et industries du vivant et de l'environnement - École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (AgroParisTech-ENGREF)[6], Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE)[7], Météo-France, ministère en charge des Affaires étrangères — direction Environnement, ministère en charge de l'Agriculture, ministère en charge du Développement durable, ministère en charge des Finances, ministère en charge de la Recherche, Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA)[8], ONERC, Parcs nationaux de France (PNF)[9], région Rhône-Alpes, Sénat, WWF (Fonds mondial pour la nature) France et le président du Conseil scientifique du programme.

Conseil scientifique

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

Richard Baron (International energy agency), Thierry Brechet (université catholique de Louvain), Beat Burgenmeier (université de Genève), Pierre Chevallier (Institut de recherche pour le développement), Wolfgang Cramer (CNRS), Pascale Delecluse (Météo-France), Filipe Duarte Santos (université de Lisbonne), Antonio Guell (Centre national d'études spatiales), Philippe Guttinger (université Paris X), Stéphane Hallegatte (Météo-France), Jean-Pierre Lacaux (Observatoire Midi-Pyrénées), Sandrine Maljean-Dubois (CNRS), Jean-Claude Manuguerra (Institut Pasteur), Claude Millier (AgroParisTech-ENGREF), André Monaco (CNRS), Serge Morand (CNRS), Michel Nakhla (Mines ParisTech), Michel Petit, Serge Planton (Météo-France), Rainer Sauerborn (université d'Heidelberg), Bernard Seguin (INRA), Henry Tulkens (université catholique de Louvain), Chloé-Anne Vlassopoulou (université de Picardie).

[1] Désormais Ministère de la Transition écologique
[2] Devenue l'Agence de la transition écologique en 2020
[3] A cessé ses activités en 2016
[4] Remplacé par l'Agence nationale de santé publique en 2016
[5] A fusionné pour créer l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) en 2020
[6] AgroParisTech est né en 2007 de la fusion entre trois écoles, dont l'ENGREF qui est devenue une école interne d'AgroParisTech
[7] A fusionné pour créer l'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) en 2017
[8] Intégré à l'Agence française pour la biodiversité (AFB) en 2016, devenue l'Office français de la biodiversité (OFB) en 2020
[9] Intégré à l'AFB en 2017

AVANT-PROPOS

Dans le processus des appels d'offres du ministère chargé de l'Environnement, la rédaction d'un livre de synthèse pour chaque appel d'offres est un outil de valorisation précieux ; il s'agit ici de l'appel à projets de recherche (APR) de 2012 du programme « Gestion et impacts du changement climatique (GICC) » et de deux projets hors APR.

Le programme GICC a été créé en 1999 et s'est terminé en 2018. L'arrêt du programme GICC a eu des effets importants : pendant cette période, on peut noter que la politique du Programme national d'adaptation au changement climatique (PNACC), une des contributions de GICC, prenait son essor et que la France préparait l'organisation de la 21e Conférence des parties (COP 21) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Contradiction majeure au-delà des régulations budgétaires ?

Les résultats du programme ont fourni des bases et des contributions à la construction et à l'évaluation des politiques publiques autour du changement climatique. Une communauté de scientifiques et de parties prenantes s'était progressivement constituée, évoluant avec la demande d'actions et agglutinant de nouvelles compétences disciplinaires.

Quel chemin depuis les premiers APR du début du XXIème siècle, parallélisé avec les travaux et orientations du GIEC ! De l'atténuation à l'adaptation, des politiques globales aux déclinaisons locales ou régionales, des sciences de la terre et de l'ingénierie à la diversité de la mobilisation des sciences humaines et sociales, de l'acteur socio-économique aux débats entre acteurs y compris les citoyens, le travail a été intense et engagé ; comme l'indique le texte de l'appel, « le programme GICC doit innover et aborder des sujets orphelins essentiels pour le ministère chargé de l'Environnement et pour les politiques publiques ».

Les projets de cet ouvrage mettent tout particulièrement l'accent sur les aspects impacts, vulnérabilités, adaptation et territoires. Les sept projets peuvent être ventilés entre quatre ensembles : eau terrestre (GEPET-Eau, HYCCARE, REMedHE) ; aménagement urbain (ADAPTATIO) ; territoires (AdaMont, OMERAD) ; et services climatiques (VIADUC).

L'eau, facteur de production (eau potable, production de biomasse, énergie et transports) mais aussi facteur de risques (sécheresse, inondations), est ici déclinée sur des questions finalisées.

Dans le projet GEPET-Eau, l'étude de situations extrêmes en termes de diminution de la ressource en eau face à l'objectif de maintenir le débit au-dessus des seuils de navigabilité a entraîné des collaborations entre hydrologues, automaticiens et gestionnaires du trafic pluvial avec une valorisation effective.

Les études menées avec HYCCARE Bourgogne et REMedHE concernent le « système eau » au

niveau du territoire et notamment l'adaptation des politiques de gestion de l'eau en fonction du changement climatique : le premier projet a eu lieu en région Bourgogne – Franche Comté, dans un territoire peu riche en eau et se base sur les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (et leurs jeux d'acteurs) pour mesurer les conditions d'une adaptation non conflictuelle ; le deuxième a comparé le grand bassin versant de l'Ebre en Espagne et celui de l'Hérault, dans un contexte méditerranéen, pour examiner la viabilité des grands systèmes d'irrigation agricole face à la pénurie et les autres axes de développement économique.

Dans HYCCARE, une tentative difficile d'effectuer une descente d'échelle sur les modèles de changement climatique montre bien que la réflexion doit être continuée dans l'ensemble de la communauté pour espérer arriver à des pratiques efficaces et robustes.

Dans REMedHE, le pessimisme de l'étude laisse entendre que ce système d'irrigation intensive est non viable ; hégémonique jusqu'à présent, il doit affronter les besoins d'autres usages de l'eau tout aussi importants pour la vie des populations.

On peut constater que cette ressource et ses usages ont pu constituer un objet de recherche attaqué sous différents angles disciplinaires, en combinant des besoins de connaissances dans des champs disciplinaires très divers (des sciences agronomiques aux sciences de gestion et aux sciences de l'eau). L'existence de politiques publiques a permis des avancées sérieuses dans ces domaines, en même temps que l'évolution desdites politiques.

Un souci affiché est de veiller à la généricité des connaissances et savoir-faire développés au niveau local ; un autre projet concerne le développement de services climatiques, VIADUC, porté directement par la direction de la climatologie et des services climatiques de Météo-France, dans la ligne du projet DRIAS financé et mis en ligne par un APR précédent.

Le parti pris est de cibler une classe d'usagers potentiels de services climatiques pour travailler de façon très participative avec les acteurs des Parcs naturels régionaux (PNR) et faire émerger dans le contexte du changement climatique des besoins de services ; cette démarche certes participative mais très volontariste est la première à enrichir l'interaction entre acteurs et porteurs de ces innovations.

Un projet urbain a été sélectionné, le projet ADAPTATIO, sur un cas d'aménagement urbain parisien. Ce projet regarde plus particulièrement l'approvisionnement de deux ressources, l'eau et la chaleur. Introduire le climat dans l'élaboration des cahiers de charges autrement qu'en exprimant l'influence des paramètres climatiques en fin de réflexion reste encore un objectif difficile ; les modèles d'ingénierie des services urbains restent des outils à « climatiser ».

Deux projets hors appel d'offres ont également été financés : AdaMont (l'adaptation au changement climatique d'une zone de moyenne montagne dans la région Rhône-Alpes) et OMERAD (l'approche juridique intégrée du territoire de la Réunion).

AdaMont a mis en place un cadre méthodologique d'analyse interdisciplinaire et participatif, exigeant et global ; ce travail ambitieux doit évidemment être consolidé pour devenir un outil

robuste pour les territoires de montagne où les effets du changement climatique sont multiples et interagissants, d'où une difficulté à mettre en place des actions de développement et de préservation durable.

OMERAD a mis l'accent sur les questions juridiques autour du climat et son évolution dans un contexte ultramarin, à l'île de la Réunion ; ce projet a utilisé les résolutions de la COP 21 de Paris en matière d'adaptation. Un gros travail de rédaction de documents de communication a été effectué pour élever la sensibilité des populations et institutions concernées.

Devant les résultats de ces différents projets de recherche, on observe la montée en puissance des besoins de recherche sur les adaptations ; ceci implique un déplacement des savoirs à mobiliser, dans beaucoup de cas un besoin d'objectifs interdisciplinaires et surtout un besoin de se rapprocher de la perception, des savoirs et des objectifs des citoyens au-delà même des comportements socio-économiques.

Il y a donc beaucoup de recherches à développer ; leur réalisation dépendra d'autres financements que GICC dont on espère une accessibilité correcte.

À cette communauté patiemment constituée, bon courage et bonne chance : le changement climatique continue dans une ambiance d'impossibilité de contrôle alors même que la recherche et le développement montrent que rien n'est perdu pour construire un avenir correct.

Claude Millier,

Ancien président du Conseil Scientifique du programme GICC.

INTRODUCTION

Le programme de recherche multidisciplinaire GICC, ou Gestion des impacts du changement climatique, fut lancé en 1999 par le ministère de la Transition écologique, à l'époque le ministère de l'Environnement. Financé par la direction de la Recherche et de l'Innovation (DRI) du Commissariat général au développement durable (CGDD) de ce même ministère, le programme bénéficia de contributions diverses : du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, de l'Agence de la transition écologique (ADEME), de l'Observatoire national des effets du réchauffement climatique (ONERC), de l'actuelle Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB) et de l'ancienne Mission interministérielle à l'effet de serre (MIES).

Le programme GICC a pour objectif général de mobiliser le domaine de la recherche en appui aux négociations internationales, aux politiques publiques notamment locales et à la mise en œuvre dans les territoires du Plan national de lutte contre le changement climatique et des Plans Climat qui l'ont suivi. Il s'agit de considérer le changement climatique du point de vue de ses impacts, des besoins d'adaptation et d'atténuation afin de développer les connaissances, les outils et les méthodes nécessaires. Un apport de connaissances sur des modalités d'adaptation au changement climatique permet de préparer les milieux, les infrastructures et les politiques publiques afin de faire face aux impacts présents et futurs de ces changements. Une étude approfondie des mesures d'atténuation du changement climatique permet quant à elle de réduire autant que possible des émissions de gaz à effet de serre pour en retour en atténuer les impacts. Cet objectif d'atténuation a évolué au cours des deux décennies du programme, grâce aux avancées scientifiques mondiales, nous permettant de viser aujourd'hui le scénario d'un réchauffement planétaire ne dépassant pas 1,5°C de plus que les niveaux préindustriels, justement pour en réduire les impacts autant que possible. Dans le cadre du programme GICC, le développement de ces connaissances a mobilisé différentes disciplines qui ont travaillé conjointement, entre sciences physiques et biologiques d'un côté pour mesurer les impacts et sciences humaines et sociales de l'autre côté pour examiner les politiques publiques, les mesures d'adaptation et d'atténuation et leurs conséquences. Le programme GICC correspond au volet « Impacts et adaptation » du dispositif national de recherche sur l'atmosphère et le climat.

Depuis 1999, le programme a évolué suivant les résultats de la recherche et selon les préoccupations sociétales. Chaque appel à projets de recherche (APR) est le reflet de cette évolution. Ainsi, onze APR ont été lancés depuis la création du programme (1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2008, 2010, 2012, 2016, plus un appel conjoint avec l'Institut français de la biodiversité[10]). Les projets de recherche choisis ont duré plusieurs années et ont pu se chevaucher dans le temps, mais les derniers ont été terminés en 2017.

[10] L'IFB a fusionné avec le Bureau des ressources génétiques en 2008 pour former la FRB.

Le GIP Ecofor suit le programme depuis 2008, en tant qu'organisme chargé de l'animation scientifique et de la valorisation sous l'égide du ministère chargé du Développement durable à l'époque. Deux ouvrages de valorisation, synthétisant les vingt-deux projets de recherche financés par GICC au cours des périodes 2008-2012 et 2010-2014, ont déjà été produits par le GIP Ecofor.

Les travaux du programme de recherche GICC après 2012 sont les cinq projets de recherche qui ont été soutenus dans le cadre de l'appel à projets de recherche lancé en 2012 sur l'adaptation au changement climatique : ADAPTATIO, GEPET-Eau, HYCCARE, REMedHE et VIADUC. Par la suite, deux projets coopératifs ont aussi été sélectionnés et financés séparément, les projets OMERAD et AdaMont, qui furent conclus plus tard.

Cet ouvrage est le dernier de cette série et présente les sept projets financés par GICC de 2012 à 2017. L'APR de 2012 avait pour thème de recherche l'adaptation au changement climatique. Deux axes ont été explorés : une approche globale des stratégies et actions d'adaptation en s'appuyant sur les modèles et les scénarios du GIEC ; une deuxième approche en définissant des stratégies d'actions mises en place au niveau territorial pour faire face aux changements en évaluant leur efficacité à travers la maîtrise des impacts, la réduction des vulnérabilités et en tenant compte des incertitudes. Les cinq projets retenus présentent une diversité d'approches sur des problématiques de gestion de l'eau, de conception de projets d'aménagement, d'aide à la décision. Cette recherche s'est construite sur un travail de pluridisciplinarité scientifique, avec l'implication de nouveaux métiers ou de nouvelles méthodes comme le design et la participation des acteurs terrain. Les deux autres projets ont été financés hors APR et s'intéressent à l'adaptation des territoires et aux questions juridiques autour du climat.

Sommaire

AVANT-PROPOS 5

INTRODUCTION 8

PROJETS DE L'APPEL À PROJETS DE RECHERCHE 2012 11

ADAPTATIO — Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s) 12

GEPET-EAU — Gestion Efficiente Prédictive ET adaptative de la ressource en Eau des voies navigables dans un contexte de changement climatique 18

HYCCARE Bourgogne — HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau en Bourgogne 25

REMEDHE — Impacts des changements climatiques et anthropiques sur la gestion quantitative des Ressources en Eau en MÉDiterranée : évaluation comparative Hérault-Ebre 33

VIADUC — Valoriser DRIAS et Innover sur l'Adaptation grâce au Design, avec des Usagers concernés par le Climat 39

PROJETS ADAMONT ET OMERAD 46

ADAMONT — Impacts du changement climatique et ADAptation en territoire de MONTagne 47

OMERAD — L'adaptation aux changements climatiques Outre-mer : approche intégrée du territoire de la Réunion 54

TABLE DES SIGLES ET ACRONYMES 64

Projets de l'Appel à Projets de Recherche 2012

ADAPTATIO

« Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s) »

Responsables, partenariats

- Coordinatrice : Morgane Colombert, enseignante-chercheuse, ancienne responsable du pôle Énergie-Climat, École des ingénieurs de la ville de Paris (EIVP), aujourd'hui directrice de projet à Efficacity.
- Porteurs du projet : Équipe de recherche de l'École des ingénieurs de la ville de Paris.
- Partenaires : Egis Concept, Elioth ; Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), département Économie et Sciences humaines ; CDC Climat[1] ; ville de Paris.

Financements

Budget total : 251 490 €.
Subvention allouée par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) : 199 700 €.

Mots-Clés

Adaptation, changement climatique, projet d'aménagement, outil d'aide à la décision, designer, énergie, eau, économie.

Introduction

Par essence, les constructions sont adaptées aux conditions climatiques des lieux où elles se trouvent, pour protéger les humains du climat. Au cours des siècles, le domaine de la construction urbaine a évolué, notamment avec l'utilisation de nouveaux matériaux ou de nouvelles sources d'énergies permettant de maintenir une température agréable à l'intérieur du bâtiment. La lutte contre les changements climatiques, qui demande à la fois l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) et donc une diminution de nos dépenses énergétiques et une adaptation aux nouvelles conditions climatiques, impose une nouvelle donne au secteur du bâtiment qui doit lui aussi changer en conséquence.

[1] En 2015, CDC co-fonde l'Institute for Climate Economics (I4CE). Les activités de recherche de CDC Climat y ont été transférées.

Le projet ADAPTATIO, porté par l'École des ingénieurs de la ville de Paris, est une réflexion sur les moyens disponibles pour prendre en compte dès la conception de projets d'aménagement les questions conjointes de l'adaptation au changement climatique et de son atténuation. La recherche s'est concentrée autour de l'usage de deux ressources identifiées comme essentielles pour le futur, l'eau et l'énergie. Des chercheurs et professionnels de l'aménagement urbain se sont associés pour explorer les incidences du changement climatique sur les consommations en eau et énergie, en apportant également un éclairage économique. Les recherches se sont appuyées sur le cas de l'aménagement du secteur Tolbiac-Chevaleret dans le 13e arrondissement de Paris. Plusieurs solutions ont été investiguées, surtout concernant l'enveloppe des bâtiments, leurs équipements et l'environnement immédiat des bâtiments en question. L'investissement, les coûts de fonctionnement et de maintenance ainsi que la durée de vie de chaque solution ont aussi été examinés, pour mener vers la conception d'outils d'aide à la décision.

Objectifs

Dès 2010, l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) sortait un rapport intitulé « Villes et adaptation au changement climatique », mettant en exergue le besoin de renforcer l'adaptation au changement climatique dans la planification urbaine et le domaine de la construction en général. Pour le projet ADAPTATIO, le caractère adapté a été défini en fonction des deux ressources clés pour demain que sont l'eau et l'énergie et en se fondant sur une évaluation économique de ces deux consommations. L'évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment se fait aujourd'hui en tenant compte des températures actuelles et non en vue des changements climatiques futurs, qui surviendront pourtant dans un laps de temps très court. ADAPTATIO vise donc à la fois à développer un outil simple de représentation des consommations énergétiques et d'eau d'un projet d'aménagement selon différents scénarios climatiques et à discuter d'une nouvelle organisation de la réflexion autour des enjeux énergétiques en faisant intervenir l'ensemble des parties prenantes pour les associer au processus d'innovation.

Le but est de faire apparaître les conséquences, notamment économiques, des choix faits lors de la conception d'un projet en termes d'adaptation au changement climatique. Si le choix de la pose de climatiseurs individuels est fait par exemple, la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre augmenteront, on parle alors de « mal-adaptation ». À défaut d'exhaustivité, le projet s'est concentré sur les actions sur l'enveloppe des bâtiments, sur les équipements et sur l'environnement immédiat des bâtiments concernés (avec les consommations d'eau limitées aux usages publics, les usages privés dépendant aussi de méthodes sociologiques non prises en compte dans ADAPTATIO).

La réflexion menée avec les professionnels de l'aménagement urbain a mené à deux constats. Le premier constat est que le cahier des charges des projets en cours ou projetés à court terme ne

comportent pas de volet adaptation. L'inclusion de la thématique de l'adaptation au changement climatique est rendue difficile par l'incertitude qui entoure l'intensité des changements climatiques à venir. Le second constat, c'est que malgré ce manque, on perçoit un besoin et un appétit à disposer d'éléments d'appréciation de l'ampleur et de l'urgence d'éventuelles mesures d'adaptation. Pour répondre à ces attentes et permettre une meilleure inclusion, ADAPTATIO va donc tenter de mettre au point des outils, ou plutôt une boîte à outils qui inclut des logiciels de simulation des enjeux énergétiques et de confort des bâtiments et des quartiers, ainsi que des données économiques sur les coûts de l'énergie et de l'eau à un horizon plus tardif.

Ces outils d'aide à la décision devraient aider à sensibiliser les acteurs de la filière aux enjeux des changements climatiques et à atteindre une compréhension des besoins d'adaptation de la construction, au moins autour des consommations énergétiques et de la ressource en eau.

Déroulement du projet

La première année du projet ADAPTATIO a servi à établir un état des lieux sur la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les démarches d'aménagement urbain durable. Cela inclut également une analyse des projets de recherche passés et contemporains en France sur le sujet et des entretiens avec des chefs de projet de la direction de l'urbanisme de la ville de Paris pour saisir leur perception de l'adaptation au changement climatique. Si des démarches et opportunités existent pour accompagner les différents acteurs d'un projet d'aménagement urbain pour intégrer les différents enjeux du développement durable, la question de l'atténuation est fortement présente mais les questions d'adaptation se font plus discrètes ou ne sont incluses qu'indirectement.

Dans l'étude des projets de recherche passés et présents sur la prise en compte de l'adaptation et sa mise en œuvre, vingt-quatre projets ont été retenus, qui émergent selon quatre catégories : la première vise à cadrer les facteurs climatiques locaux d'influence ; la deuxième esquisse les modes d'adaptation aux effets du changement climatique en un lieu donné ou sur une activité donnée ; la troisième évalue des conséquences de l'évolution de certains aléas climatiques avec les changements climatiques en plus ; la quatrième et dernière catégorie veut préciser le contour et le contenu du concept même d'adaptation. Parmi tous les projets étudiés, l'équipe a pu déceler et choisir quelques éléments liés à une « bonne adaptation » : connaissance la plus précise possible du futur climatique ; perception de ce qui est « acceptable » ou non en matière de confort et de conditions de vie ; et précisions sur le contexte économique, même si les estimations du contexte économique futur sont très incertaines.

Pour effectuer une analyse aussi complète que possible sur le cas du secteur Tolbiac, l'équipe a

étudié plusieurs documents[2] et s'est entretenue avec plusieurs chefs de projets des aménagements urbains parisiens.

Après ces premières études, le projet a enchaîné sur l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité énergétique, hydrique et économique de l'étude de cas. Plusieurs simulations et analyses appliquées au cas de Tolbiac-Chevaleret ont été proposées. Le modèle Clim'Elioth (développé par Egis Concept) a été adapté pour les besoins du projet. Le modèle ENVI-met a abordé la question des modifications microclimatiques liées à la forme urbaine et aux matériaux ainsi que leurs évolutions en fonction des différents scénarios de changement climatique. Bien sûr, les impacts économiques liés aux besoins en énergie et en eau ont été évalués, comme prévu initialement. Enfin, un croisement de toutes ces analyses a été fait par l'équipe pour élaborer la boîte à outils prévue pour mettre en évidence les effets du changement climatique et les choix possibles d'adaptation.

Enfin, le projet ADAPTATIO s'est interrogé sur les informations utiles à apporter aux acteurs d'un projet comme celui de Tolbiac pour qu'ils appréhendent au mieux l'adaptation au changement climatique. La méthodologie développée par ADAPTATIO a permis d'évaluer les besoins en énergie et en eau selon différents scénarios climatiques, ainsi que les impacts potentiels des solutions pour adapter les bâtiments ou le quartier et les coûts des scénarios adaptés ou non. Dans le même temps, une réflexion a été lancée sur le besoin d'examiner les enjeux énergétiques lors d'un projet d'urbanisme en faisant notamment intervenir plusieurs acteurs opérationnels lors d'ateliers et en interrogeant les potentiels apports du *design thinking*[3]. À l'issue des ateliers sur le *design thinking*, plusieurs possibilités d'application avaient été remarquées, ainsi que quelques limites. Mais ses principes comme la démarche participative ou le passage par des supports visuels font déjà partie intégrante des compétences et méthodes utilisées en urbanisme. D'ailleurs, sans même en avoir eu l'intention, ADAPTATIO a utilisé spontanément des ressources recommandées dans ce domaine particulier de compétences.

Résultats et perspectives

Suite aux deux constats initiaux faits par les porteurs du projet, concernant l'absence de prise en compte de l'adaptation dans les cahiers des charges et les attentes des professionnels

[2] Le Projet d'aménagement et de développement durable (PADD) de la ville de Paris, son Plan local d'urbanisme (PLU), le Plan de prévention du risque d'inondation (PPRI), le Plan climat 2007 de Paris, le Plan de déplacements urbains de la région Ile-de-France, le Plan de prévention des déchets, le Cahier des recommandations environnementales pour les acteurs de la construction et de l'aménagement de la ville de Paris, le Guide de l'aménagement durable de la ville de Paris, le système de management environnemental (SME) de la Société d'étude, de maîtrise d'ouvrage et d'aménagement parisienne (SEMAPA) datant de 2000, les Cahiers des charges de la SEMAPA, la Charte environnementale de Paris rive gauche et le Cahier des prescriptions environnementales datant de 2009.

[3] Le *design thinking* est un processus participatif reposant sur la créativité collective, l'empathie des intervenants, et sur un raisonnement abductif qui encourage à sortir des sentiers battus.

sur le sujet, ADAPTATIO a développé une boîte à outils (*toolbox*) pour entamer une réflexion sur ces sujets.

L'objectif fixé dans le cadre d'ADAPTATIO a été atteint, puisque les études réalisées et outils élaborés ont permis une exploration par des professionnels de l'incidence d'un climat futur sur les consommations en eau et en énergie d'un groupe d'immeubles construits dans la ZAC Tolbiac, dans le 13e arrondissement de Paris. Il s'agissait avant tout de créer les conditions d'un échange sans prétendre se substituer aux outils d'étude et de simulation déjà mobilisés par les acteurs de l'aménagement urbain.

Nuances et besoins futurs de la recherche

Si le projet a atteint certains des objectifs fixés au début, il a aussi permis de mettre en lumière certains paradoxes de l'adaptation dans le domaine de la construction et certaines limites, tout comme de futures pistes de recherche.

Selon les recherches de la première étape du projet ADAPTATIO, jusqu'à maintenant la plupart des méthodologies faisaient plus grand cas de l'adaptation climatique à la situation présente qu'à l'adaptation au changement climatique, c'est-à-dire à la situation climatique future. De plus, dans les projets, peu de liaisons sont établies entre les principes et besoins d'atténuation et d'adaptation, alors qu'ils sont complémentaires. Il y a un réel besoin d'accompagner les collectivités et les aménageurs dans la prise en compte de l'adaptation au changement climatique, à travers l'amélioration des outils et méthodes, qu'ils aient été développés par ADAPTATIO ou par d'autres acteurs.

Des considérations hors du champ d'ADAPTATIO peuvent être nécessaires pour une approche plus intégrée et exhaustive du sujet : par exemple, le fait que deux personnes au niveau de vie différent perçoivent différemment le caractère adapté d'un bâtiment, selon leur disposition à payer une facture énergétique plus ou moins élevée. Cela renvoie à des considérations non étudiées ici sur les différences de niveau de vie dans différentes parties du monde, sur les vulnérabilités économiques entre autres et sur les nuances que cela entraîne sur l'approche de l'adaptation.

La *toolbox* d'ADAPTATIO peut être améliorée pour dépasser ses limites actuelles, mais elle reste paramétrable pour un quartier autre que celui étudié dans le projet, à condition de saisir les données complètes de ce nouveau quartier (géométrie et description des bâtiments et de leur environnement). Elle peut permettre de sensibiliser les acteurs aux enjeux associés à une nouvelle donne climatique, lors de la planification d'aménagements urbains.

Côté économique, le projet a suscité des échanges riches lors des ateliers, tables rondes et séances publiques auxquels les porteurs de projet ont participé. Si des bases ont pu être posées en lien avec les praticiens pour faciliter l'échange avec des économistes quant aux implications

économiques et financières de l'adaptation, il n'en reste pas moins que les perspectives à long terme de l'évolution des coûts des ressources hydriques et énergétiques sont incertaines.

Dans le futur, plusieurs perspectives restent à investiguer, comme l'intégration d'autres indicateurs tel le niveau d'émission de GES associé aux solutions techniques retenues, l'association de futurs usagers du quartier au choix de solutions d'adaptation par un renforcement des possibilités de visualisation et un effort pédagogique de présentation des résultats de simulation, ou encore la création des conditions à la mobilisation des démarches de *design thinking* en valorisant les outils comme la *toolbox* en tant que support à l'intervention de designers spécialisés.

Principales valorisations des recherches

La valorisation du projet ADAPTATIO est principalement passée par des participations à des colloques, nationaux et internationaux, des tables rondes et un atelier de restitution auprès de GICC. Dès octobre 2012, Madame Colombert participe à un colloque du programme GICC pour parler de « l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s) ». En 2013, on note une participation des chercheurs du projet à la Conférence *Industrial and commercial use of energy* (ICUE) en Afrique du Sud, ainsi qu'à un séminaire de l'Institut français d'Afrique du Sud, tous deux sur « *ADAPTATIO project : integration of adaptation to climate change within the design process of urban planning projects* ». En France, la même année, l'équipe participe à l'événement Ecocity de Nantes et aux Rencontres Ramau à Paris. L'année suivante, en 2014, le projet est toujours actif sur le côté valorisation, avec une participation à l'école d'été *The Journey* de l'*EIT* (*European institute of innovation and technology*) *Climate-KIC* (*knowledge and innovation community*) et une restitution auprès du programme GICC à la CDC Climat. Enfin, en 2015, ADAPTATIO fait l'objet d'une table ronde à la journée du Club villes, territoires, énergie et changement climatique (ViTECC), mais fait surtout l'objet de deux communications avec articles pour la neuvième édition de l'*International Conference on Urban Climate* (ICUC9) à Toulouse, organisée par l'Association Internationale pour le Climat Urbain (IAUC) et la Société Américaine de Météorologie (AMS).

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page internet d'ADAPTATIO et y télécharger le rapport final du projet.

GEPET-EAU

« Gestion Efficiente Prédictive ET adaptative de la ressource en Eau des voies navigables dans un contexte de changement climatique »

Responsables, partenariats

- Coordinateur : Eric Duviella, enseignant-chercheur, Centre commun ARMINES (Association pour la recherche et le développement des méthodes et processus industriels) — École des mines de Douai, département Informatique et Automatique, unité de recherche en Informatique et Automatique (URIA). Désormais enseignant-chercheur au Centre d'enseignement, de recherche et d'innovation – Systèmes numériques (CERI SN) de l'Institut Mines-Télécom (IMT) Lille Douai.
- Organismes et laboratoires impliqués dans le projet : centre commun ARMINES — École des Mines de Douai (devenue IMT Lille Douai), département Informatique et Automatique, URIA ; Direction régionale Nord-Pas-de-Calais de Voies navigables de France (service de gestion hydraulique).
- Partenaires associés : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA, devenu INRAE) Lyon (expertise sur changement climatique) ; Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Nord-Pas-de-Calais (connaissance gestion de la ressource en eau et risques environnementaux) ; Agence de l'eau Artois-Picardie (expertise gestion de l'eau et du changement climatique) ; laboratoire de recherche *Advanced control systems* (SAC) de l'université polytechnique de Catalogne (UPC) (expertise domaine modélisation et conduite des systèmes hydrauliques).

Moyens mobilisés : enseignants-chercheurs, ingénieurs de recherche, deux post-doctorantes de 12 mois et expertise des gestionnaires.

Financements :

Budget total : 499 155 €.

Subvention allouée par le MEDDE : 198 828 €.

Mots-Clés

Gestion prédictive et adaptative, changement climatique, voies navigables, vulnérabilité, résilience.

Introduction

Le projet GEPET-Eau a tenté de répondre de façon innovante aux objectifs du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), en concevant des outils d'étude de la résilience des systèmes fluviaux et en proposant des stratégies de Gestion efficiente prédictive et adaptative de la ressource en eau des voies navigables dans un contexte de changement climatique (GEPET-Eau). Le projet est parti du constat du faible nombre de travaux dédiés à l'étude de l'impact du changement climatique sur les voies navigables et ce malgré le besoin potentiellement croissant de navigation fluviale (dans un souci d'atténuation des émissions du transport terrestre) et des risques de baisse de la ressource en eau des voies navigables (besoin d'adaptation aux impacts du changement climatique). GEPET-Eau a contribué à étoffer les connaissances dans ce domaine en mobilisant un consortium de gestionnaires, d'institutions et de laboratoires de recherche pour apporter des réponses scientifiques et techniques concrètes considérant des problématiques provenant des systèmes réels. Ce consortium a permis de soutenir un axe de recherche innovant dans les domaines de l'automatique et de l'informatique. Partant d'études bibliographiques poussées sur de précédents projets de recherche et études sur le sujet, les participants ont développé et testé des outils pour la gestion des volumes et des débits, en s'appuyant sur un logiciel de simulation des systèmes hydrauliques à surface libre développé par IRSTEA. Outre ces outils, le projet a aussi permis de mettre en relation divers acteurs du secteur et de développer la communication et coopération aux niveaux régional, européen et international.

Objectifs et contexte

Le projet GEPET-Eau a consisté en l'élaboration de stratégies de gestion prédictive et adaptative des voies navigables ainsi que de la ressource en eau au sein de différents bassins versants. L'objectif clair du projet était de garantir les conditions de navigabilité dans un contexte de changement climatique demandant des efforts d'atténuation et d'adaptation. Un accroissement de l'utilisation des réseaux de voies navigables comme alternative au transport terrestre entre dans un souci d'atténuation du changement climatique et est souhaité par des organismes comme Voies navigables de France (VNF) et certains décideurs politiques. Toutefois, seule une amélioration de l'efficience de la gestion de la ressource en eau tout au long du réseau peut permettre d'assurer le maintien de l'affluence actuelle et d'un potentiel accroissement, en prévoyant des stratégies d'adaptation aux impacts du changement climatique. Des retombées positives économiques, de service et socio-économiques pourraient être amenées par ce projet, autant pour VNF que pour les collectivités territoriales concernées.

Pour assurer la continuation de la navigation et son possible accroissement, une répartition

harmonieuse des volumes d'eau sur l'ensemble des réseaux de voies navigables est requise. Le niveau de chaque portion, chaque bief, doit donc être régulé afin de rester sur un niveau proche des niveaux normaux de navigation, en faisant face aux conséquences liées aux aléas climatiques qui risquent de changer la durée et le nombre de périodes d'étiage (niveau bas des cours d'eau comme en période de sécheresse) ou le phénomène de montée des eaux. Ces aléas climatiques ne font que s'ajouter à de nombreuses contraintes déjà présentes.

GEPET-Eau, par ses deux principaux contributeurs, le centre commun ARMINES — École des Mines de Douai avec l'URIA et Voies navigables de France, se proposait d'apporter une architecture de conduite intégrant des stratégies de gestion adaptative et prédictive pour répondre à cette problématique. Le projet entendait concevoir cette architecture en respectant les approches intégrées et territoriales. Les sous-objectifs du projet étaient notamment la conception et l'adaptation de méthodologies et d'outils pour l'adaptation au changement climatique, une amélioration des connaissances et une collaboration étroite entre chercheurs et gestionnaires. VNF a ainsi cherché à étudier plus en détail la structure du réseau des voies navigables du Nord-Pas-de-Calais, de ses bassins versants, établissant des dossiers d'ouvrages et nouvelles cartographies. L'URIA, outre la coordination du projet dans sa totalité, a travaillé plus précisément sur les stratégies de gestion et leur inclusion dans l'architecture de conduite et surtout sur le développement d'outils, comme un logiciel. En partenariat avec le laboratoire de recherche SAC de l'université polytechnique de Catalogne (UPC), des approches de modélisation ainsi que des méthodes d'optimisation ont été étudiées, adaptées et conçues. Les outils qui en ont découlé doivent être mis en œuvre et testés au sein des voies navigables du Nord-Pas-de-Calais, sur le bief Cuinchy-Fontinettes. La DREAL Nord-Pas-de-Calais, l'Agence de l'eau Picardie-Artois et IRSTEA ont également été associés au projet pour maximiser les synergies et bénéficier d'une vision plus globale en intégrant aussi bien l'approche métier des gestionnaires, une réalité de terrain et des experts sur les impacts du changement climatique.

Déroulement du projet et méthodes

Étapes clés

Pour parvenir aux objectifs fixés, le travail du projet GEPET-Eau a été réparti en six tâches s'étalant sur trois ans et demi. La tâche T1 concernait l'étude des travaux précédents sur l'impact du changement climatique sur les voies navigables. La tâche T2 se concentrait sur la démarche de modélisation générique pour arriver à un modèle pertinent et réaliste du bief et de ses interactions avec les bassins versants. Le modèle en question a aidé, pendant la tâche T3, à simuler le comportement dynamique du bief en cas d'événements critiques pour étudier sa

résilience. L'architecture de conduite regroupant les stratégies de gestion prédictive et adaptative pour une meilleure résilience a été établie pendant la tâche T4. La tâche T5 a vu le déploiement d'un protocole de simulation et de validation et d'une plateforme de démonstration avec les stratégies précédemment proposées. Enfin, la tâche T6 consistait en un retour d'expérience après l'expérimentation des stratégies et amenait la définition des bases d'un outil d'aide à la décision plus générique, utile pour d'autres voies navigables que le bief de l'étude ou pour un ensemble de biefs en réseau.

Méthodes

Enseignants-chercheurs, étudiants, ingénieurs de recherche, gestionnaires et deux post-doctorantes, venant du centre commun ARMINES — École des Mines de Douai, de VNF, de l'UPC, de l'IRSTEA, de la DREAL ou de l'Agence de l'eau Picardie-Artois, ont donc réalisé ces six tâches.

Le projet est tout d'abord parti d'un travail bibliographique sur les précédentes études liées aux impacts du changement climatique sur les voies navigables, qui a révélé plusieurs constats provoquant des questionnements. Entre autres, les modèles hydrologiques issus de ces études n'amenaient que peu de possibilités d'application directe pour la gestion, le lien entre les conclusions de ces études et leur transposition sur le terrain était loin d'être évident. Un des projets européens étudiés sur le sujet concluait rapidement que les réseaux de navigation équipés d'écluses ne seraient pas impactés par le changement climatique grâce au contrôle assuré par les ouvrages, ce que GEPET-Eau a décidé d'investiguer plus en profondeur, au vu des marges déjà très étroites de gestion des voies navigables en temps normal.

Pendant ce temps, VNF a réalisé un travail d'amélioration des connaissances sur le réseau des voies navigables du Nord-Pas-de-Calais, le plus dense de France. Des schémas du réseau, des affluents, des prises d'eau principales, *etc*. ont été réalisés à cette occasion, prenant aussi en compte les débits moyens, les débits d'étiage et la taille des bassins versants. Une cartographie et des dossiers d'ouvrages par tronçon du réseau ont bénéficié à cette étude en apportant des données précieuses pour la suite des opérations : connaître précisément le fonctionnement en période « normale » est indispensable pour calculer les effets du changement climatique.

À partir des données récoltées précédemment sur le réseau des voies navigables et sur ses particularités, ainsi que sur les défis liés à leur gestion en périodes anormales qui peuvent être accrues dans un contexte de changement climatique, des contributions scientifiques ont été proposées. Une architecture de conduite a été proposée, intégrant des stratégies de gestion, afin de garantir les conditions de navigabilité en particulier en périodes anormales.

Deux modes de gestion sont liés dans cette architecture :

- Mode de gestion des volumes, *a priori* plus adapté à l'étude des périodes d'étiage, à l'étude de la résilience des réseaux de voies navigables dans un contexte de changement

climatique et à l'élaboration de stratégies de répartition de la ressource en eau sur l'ensemble du réseau pour une meilleure adaptation ;

- Mode de gestion de débits, plus adapté au maintien des objectifs de gestion des niveaux de chaque bief grâce à l'élaboration de techniques de régulation et plus adapté également à l'étude des phénomènes ayant des dynamiques plus rapides tels que les phénomènes de montée des eaux.

Pour mettre en œuvre cette architecture de conduite des stratégies de gestion, des outils ont été développés, spécifiques à chaque mode de gestion.

Les outils de gestion des volumes ont été basés sur un modèle intégré des réseaux de voies navigables, sur des graphes de transport et des méthodes d'optimisation quadratique ou d'optimisation sous contraintes. Une méthodologie a ensuite été élaborée pour l'emploi séquentiel de ces outils et une application a été développée avec une interface utilisateur pour faciliter la conception de réseaux de voies navigables, l'étude de leur résilience et l'optimisation des stratégies de répartition de la ressource en eau. La notion de résilience a en outre fait l'objet d'une étude plus précise et d'une définition. Ces outils ont ensuite été testés sur des réseaux académiques et sur un sous-réseau de voies navigables du Nord-Pas-de-Calais. Les tests ont effectivement démontré l'intérêt de ces outils.

Les outils de gestion de débit ont nécessité la conception d'approches de modélisation pour reproduire la dynamique des biefs en tenant compte de chacune de leurs spécificités (dimensions, pentes, *etc*.). Des approches plus classiques de la littérature et un modèle de type boîte-grise ont aussi été adaptés ou développés. Un logiciel de simulation des systèmes hydrauliques à surface libre développé par IRSTEA, SIC^2 (Simulation intégrée des canaux et de leur contrôle), a permis de comparer les approches de modélisations avec les résultats de simulations sur un bief de la région Nord-Pas-de-Calais. Les chercheurs ont développé et testé des techniques de régulation de type prédictif ou optimal. Les résultats des simulations ainsi obtenus ont permis de constater que ces techniques conduisaient à une amélioration de la régulation des niveaux dans le bief étudié du Nord-Pas-de-Calais.

Résultats et perspectives

Le projet GEPET-Eau a obtenu des résultats pouvant être répartis en trois grandes catégories d'objectifs : des objectifs de sensibilisation ; des objectifs d'application de la recherche théorique au terrain et avec des gestionnaires ; et des objectifs d'augmentation des connaissances et d'inclusion dans une communauté plus large de scientifiques et de gestionnaires.

La sensibilisation d'étudiants aux enjeux environnementaux, notamment au sein de l'École des Mines de Douai, s'est faite au travers de leur implication dans les projets. Quatre projets, dont un projet scientifique et technique de six mois et trois projets de découverte de la recherche de 3 mois chacun, ont permis aux étudiants d'apercevoir comment les sciences et techniques de l'ingénieur peuvent apporter une réponse aux problématiques environnementales. Deux étudiants ont par la suite obtenu des financements de thèses sur la gestion prédictive sous incertitudes de la ressource en eau pour les réseaux de voies navigables (thèse 2015-2018) et sur le contrôle et le diagnostic de réseaux de voies navigables intérieures (thèse 2015-2019).

L'application des travaux de recherche théoriques aux problématiques de gestion des voies navigables a permis des avancées dans plusieurs domaines. Plusieurs contributions scientifiques de pointe dans le domaine de l'automatique (modélisation et contrôle) ont été adaptées ou même conçues et surtout appliquées aux voies navigables, ce qui a donné lieu à plusieurs publications scientifiques. Des méthodologies liées au domaine de l'intelligence artificielle, aussi développées et adaptées au champ des voies navigables (et à la gestion des volumes), ont été valorisées dans des articles scientifiques. Enfin la conception et l'implémentation d'un logiciel servant d'outil d'étude de la résilience des réseaux de voies navigables dans un contexte de changement climatique et d'optimisation de la ressource en eau avait pour objectif d'appliquer les méthodes et outils développés à d'autres voies navigables. La collaboration entre chercheurs et gestionnaires, URIA et VNF principalement, a permis de mettre ces contributions scientifiques innovantes au service des problématiques réelles de gestion. La participation conjointe aux publications, aux conférences et à d'autres actions de valorisation a permis de mettre en avant les avantages de cette collaboration, comme dans le cadre de la démarche CERCLE (Collectif d'Expertise Régionale pour le CLimat et son Évolution) de la Région Nord-Pas-de-Calais.

Le projet GEPET-Eau a grandement contribué à l'augmentation des connaissances et ce dans plusieurs domaines. La modélisation et la conduite de systèmes environnementaux complexes a été approfondie, le comportement et la dynamique du réseau de voies navigables du Nord-Pas–de-Calais ont été cartographiés et la confrontation entre les connaissances, l'expertise des partenaires et de nouvelles problématiques ont permis un accroissement du savoir-faire et du savoir des parties prenantes. La valorisation de ces connaissances nouvelles a bénéficié à la communauté scientifique plus large, à travers le grand nombre de publications d'articles et de participations à des conférences, à la fois dans les domaines de l'automatique et de l'informatique appliqués à l'hydraulique. Outre les partenaires impliqués dans le projet comme l'UPC, d'autres universités européennes (l'université de Séville, l'université de technologie de Delft, le laboratoire génie de production de l'École nationale d'ingénieurs de Tarbes, le laboratoire de conception et d'intégration des systèmes de l'université de Grenoble, *etc*.) ont reconnu le savoir-faire des collaborateurs du projet par de nombreuses invitations à participer à des ouvrages, à des conférences et à des séjours de travail universitaires.

Nuances et besoins futurs de la recherche

GEPET-Eau a permis de lancer la collaboration chercheurs-gestionnaires sur la gestion des voies navigables dans un contexte de changement climatique. Toutefois, ce travail doit continuer et être renforcé. Le logiciel peut et doit être amélioré pour prendre en compte la complexité des réseaux de voies navigables plus largement et les dernières avancées en matière de prédiction des impacts du changement climatique. La question du passage d'une gestion non-structurelle (non-modification des ouvrages du réseau pour l'optimisation de la gestion) à une gestion structurelle (modification ou création de nouveaux ouvrages) doit être investiguée pour voir les potentiels avantages et inconvénients associés. La ressource en eau elle-même fait l'objet de questionnements plus grands car son usage est partagé et non limité à la navigation, donc la prise en compte des objectifs et contraintes dus aux autres usages de l'eau serait une avancée considérable. Une suite au projet GEPET-Eau permettant de répondre à ces différentes problématiques pourrait prendre une échelle différente, peut-être régionale, nationale ou européenne et devra intégrer un faisceau plus vaste encore d'acteurs pour bénéficier de leur savoir-faire et de leurs connaissances.

Principales valorisations des recherches

De nombreuses contributions scientifiques[3] sont issues du projet GEPET-Eau. Outre la participation à la démarche CERCLE du Nord-Pas-de-Calais, nous avons évoqué précédemment la reconnaissance universitaire au niveau national et européen, qui se manifeste en particulier par les collaborations entre laboratoires de recherches. Au niveau international également, GEPET-Eau s'est fait entendre grâce à plusieurs communications, articles scientifiques et participations à des conférences. En tout, grâce aux travaux menés de 2013 à 2016, GEPET-Eau a conduit à la production de trois ouvrages, cinq articles dans des journaux scientifiques internationaux, 20 conférences internationales avec actes édités, sept communications dans des conférences avec actes non édités, un rapport de fin de projet, une communication dans le cadre de groupes de travail et quatre organisations de sessions dans des conférences internationales.

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page internet de GEPET-Eau et y télécharger le rapport final du projet.

HYCCARE

« HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau en Bourgogne »

Responsables, partenariats

- Coordinatrice : Anne-Cerise Tissot, Alterre Bourgogne-Franche-Comté.
- Porteurs du projet : Alterre Bourgogne-Franche-Comté (Alterre Bourgogne jusqu'en 2016), l'agence régionale pour l'environnement et le développement soutenable.
- Partenaires : unité mixte de recherche (UMR) Biogéosciences — Université de Bourgogne, Centre national de la recherche scientifique (CNRS) ; UMR CESAER (Centre d'économie et de sociologie appliquées à l'agriculture et aux espaces ruraux) — AgroSup Dijon, Institut national de la recherche agronomique (INRA, devenu INRAE) ; UMR Agroécologie — INRA, AgroSup Dijon, université de Bourgogne ; UMR Sisyphe[4] (Structure et fonctionnement des systèmes hydriques continentaux) — université Pierre et Marie Curie (devenue Sorbonne Université), CNRS, École pratique des hautes études ; UMR CITERES (Cités, territoires, environnement et Sociétés) — université François Rabelais de Tours, CNRS ; Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Financements

Budget total : 421 679 €.

Subvention allouée par le MEDDE : 227 019 €.

Cofinancements :

- Agence de l'eau Loire-Bourgogne (AELB) : 61 296 € ;
- Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN) : 43 783 € ;
- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC) : 43 783 € ;
- ADEME Bourgogne : 48 161 €.

Mots-Clés

Changement climatique, modélisation, hydrologie, bassin versant, territoire, ressource en eau, adaptation, gouvernance, collectifs, gestion de l'eau, politiques « climat ».

[4] A fusionné en 2014 pour créer l'UMR METIS.

Introduction

HYCCARE Bourgogne (HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau en Bourgogne) est un projet de recherche et d'action partenarial et pluridisciplinaire visant à mettre à disposition des acteurs et décideurs locaux des outils pour mieux prendre en compte le changement climatique dans la gestion de l'eau. Le projet s'est déroulé selon deux axes : l'élaboration de connaissances sur le changement climatique et ses impacts sur la ressource en eau (débits des cours d'eau, réserve en eau des sols) à une échelle fine et en continu, ce qui est une particularité méthodologique originale, ainsi que l'analyse des perceptions et de l'intégration du changement climatique dans les dispositifs actuels de gestion de l'eau sur plusieurs bassins versants bourguignons. Les deux axes de recherche-action ont dialogué et ont adapté leur méthodologie au fur et à mesure de l'avancement des travaux, pour répondre, ensemble, aux questions : « Le changement climatique est-il déjà perçu dans les territoires bourguignons ? Quelles ont été ses modalités d'expression par le passé ? Quels impacts sur la ressource en eau ? Que peuvent nous enseigner les simulations pour l'avenir ? La gestion actuelle de l'eau prend-elle en compte le risque de pénurie et plus largement le changement climatique ? La gouvernance locale est-elle adaptée pour traiter de ces questions ? Comment les acteurs imaginent-ils s'adapter ? ». Si toutes les réponses n'ont pas été apportées, ce projet de recherche-action a montré, via plusieurs travaux parallèles dans le temps co-construits avec les acteurs du territoire, que les incertitudes ne sont pas un frein à l'action mais un élément d'aide à la décision. En trois ans et demi (octobre 2012 à avril 2016), grâce à l'implication et au soutien de nombreuses institutions et de sept organismes de recherche, le projet HYCCARE a pu analyser les observations passées et présentes, simuler les effets futurs du changement climatique sur les débits des cours d'eau et mettre en relation les acteurs locaux, les décideurs et les experts pour répondre ensemble aux incertitudes.

Objectifs et contexte

HYCCARE Bourgogne est un projet ambitieux qui s'est inscrit dans la continuité de travaux menés depuis le début des années 2000. En effet, historiquement, les connaissances sur le changement climatique ont essentiellement été construites aux échelles internationales et nationales. L'enjeu est premièrement vu comme global, donc ne permet pas de mobiliser localement les acteurs. C'est pourtant bien au niveau des territoires que les impacts du changement climatique se font et se feront sentir et donc que l'adaptation est nécessaire. La ressource en eau est un sujet essentiel de l'adaptation au changement climatique car sa disponibilité est directement fonction du climat (précipitations, températures et évapotranspiration) et influence le bon fonctionnement d'un grand nombre de secteurs et

d'acteurs locaux, de l'alimentation en eau potable à l'agriculture en passant par le tourisme.

Le premier projet posant les prémices de HYCCARE est lancé en 2008 par Alterre Bourgogne, en partenariat avec l'UMR Biogéosciences, AgroSup Dijon, la Chambre d'agriculture de la Nièvre et l'INRA. À l'époque, il s'agissait d'un premier travail de spatialisation du changement climatique et de ses effets sur la ressource en eau à partir de l'exemple de l'année 2003. Ce partenariat faisait déjà suite, à ce moment-là, à plusieurs travaux sur l'adaptation au changement climatique menés en Bourgogne depuis le début des années 2000. Il a tenté une première fois de regrouper chercheurs et acteurs et a permis dans une certaine mesure d'articuler plusieurs modèles de façon interdisciplinaire et de commencer à rendre « lisible » le risque auprès des acteurs bourguignons. Toutefois il n'intégrait ni des simulations sur des décennies futures, ni les échanges avec les nappes souterraines, limitant sa portée.

Prenant appui sur les premiers résultats de 2008, les mêmes partenaires (Alterre Bourgogne, les UMR Biogéosciences et CESAER) ont été rejoints par les UMR Agroécologie, Sisyphe, le laboratoire CITERES et le Bureau de recherches géologiques et minières, pour proposer le projet HYCCARE Bourgogne en réponse à l'appel à proposition GICC de 2012. L'objectif était cette fois de mettre à disposition des décideurs locaux des outils qui leur permettraient de mieux prendre en compte les risques liés aux impacts du changement climatique sur la ressource en eau sur leurs territoires.

À cette fin, HYCCARE Bourgogne propose de relever deux défis en particulier, dont les résultats devraient nourrir les réflexions de chacun des acteurs mobilisés.

Un premier défi tient à la co-construction de connaissances locales sur le changement climatique et ses impacts sur la ressource en eau en Bourgogne. Cela suppose un travail de simulations emboîtées effectuées par plusieurs communautés : climatologues, hydrogéologues et agronomes. Les échelles considérées (de la région aux petits bassins versants) doivent permettre aux acteurs bourguignons de mieux percevoir et appréhender l'aléa climatique, la sensibilité des milieux physiques et l'exposition différentielle de chaque partie des territoires, ce qui devrait aider à la réalisation du second défi. Celui-ci consiste à préciser les différences territoriales et à ouvrir localement des espaces de débat intersectoriel sur les collectifs à réunir et le type d'actions à mettre en place, puis à en déduire des éléments de politiques publiques, alimentant ainsi réciproquement la réflexion pour le premier défi.

Ces deux défis sont étroitement liés aux deux axes autour desquels s'articule le projet pluridisciplinaire HYCCARE qui permettent d'accompagner la prise en compte du changement climatique dans la gestion de la ressource en eau. Le premier axe consiste en la construction de connaissances relatives au changement climatique et à ses impacts sur la ressource en eau, en termes de débits dans les cours d'eau et d'évolution du remplissage de la réserve utile des sols. Il faut à la fois analyser les observations des décennies passées et réaliser des simulations jusqu'à l'horizon 2100. Ces deux perspectives temporelles viennent compléter les connaissances déjà

accumulées lors du projet de 2008. Les observations et simulations réalisées ont la particularité d'avoir été menées en continu afin de mieux comprendre les modalités du changement climatique et de ses impacts et à une échelle fine pour correspondre aux échelles de gestion de l'eau des territoires. Ces simulations impliquent également le développement d'une chaîne de modélisation hydro-climatique, les sorties des simulations climatiques servant de données d'entrées pour des simulations hydrologiques. De cet axe était attendue une meilleure connaissance des modalités d'évolution de l'aléa climatique à l'échelle de la Bourgogne et de la capacité de la ressource en eau à se régénérer à l'échelle de bassins versants. L'échelle spatio-temporelle fine de ces résultats contribue à rendre plus lisible et compréhensible le risque pour les acteurs du territoire. Les échanges menés lors des différentes phases de ces travaux entre chercheurs et parties prenantes (institutionnels et gestionnaires de la ressource) ont permis de prendre en compte les attentes et besoins de ces derniers, de favoriser l'appropriation des résultats et de co-construire des indicateurs, nourrissant tout le processus et faisant évoluer les objectifs et méthodes au fur et à mesure.

Le deuxième axe consiste lui en une analyse socio-économique des territoires face au changement climatique et à ses impacts sur la ressource en eau. Une analyse de la prise en compte et de la gestion du risque climatique dans les territoires (rôle des connaissances, dynamiques locales, outils de gestion…) a été déclinée sur trois bassins versants choisis dans le périmètre des trois agences de l'eau partenaires du projet et représentant trois situations contrastées d'enjeux autour de la ressource. Les résultats des recherches en climatologie et en hydrologie y ont été mis en débat auprès des gestionnaires de la ressource en eau via des « ateliers du climat » (aussi appelés « ateliers de design territorial[5] »). Ce volet est également alimenté par des enquêtes complémentaires menées sur cinq autres bassins versants ainsi qu'à l'échelle régionale. Il comprend enfin des études de cas pour évaluer la sensibilité des territoires et de l'activité agricole au changement climatique. L'analyse des dynamiques autour des impacts et des pistes d'adaptation devrait parvenir à identifier des leviers pour faire émerger une politique publique autour des questions du changement climatique et de la gestion de l'eau. Cet axe associe ainsi des regards disciplinaires en géographie, en sciences de gestion et en économie.

Le projet HYCCARE Bourgogne s'est ainsi caractérisé par des travaux pluridisciplinaires, une concertation importante des acteurs du territoire au fil des travaux ainsi que par le rapprochement des échelles spatio-temporelle et décisionnelle. Plus de 30 personnes, des chercheurs mais aussi des stagiaires, doctorants, post-doctorants et CDD, ont été impliquées dans les travaux de recherche relevant de diverses disciplines : climatologie, hydrogéologie, agronomie, économie, géographie, sciences sociales et de gestion, géomatique...

[5] Les ateliers de design territorial ont pour but de diffuser des données appropriables sur les modalités locales du changement climatique et de ses impacts sur la ressource en eau, d'anticiper l'avenir et imaginer collectivement des solutions d'adaptation pour le territoire.

Déroulement du projet et méthode

Une des particularités du projet HYCCARE est que ses travaux n'ont pas été menés de manière linéaire, en parallèle les uns par rapport aux autres. De nombreux allers-retours ont eu lieu au sein des modules de recherche, entre équipes de recherche et avec les gestionnaires de l'eau afin d'aboutir à une proposition cohérente, adaptée aux besoins des territoires et tenant compte des résultats obtenus au fur et à mesure du projet.

HYCCARE Bourgogne est un projet partenarial entre chercheurs, institutionnels et acteurs locaux. Il a été porté par le collectif de chercheurs et de partenaires préoccupés par la gestion de l'eau déjà cité, réuni par Alterre Bourgogne.

La gouvernance du projet a été multiforme afin d'associer les différentes parties prenantes grâce tout d'abord à un comité de pilotage. Il est constitué des organismes de recherche impliqués, des partenaires financiers comme le MEDDE, le GIP Ecofor, l'ADEME, l'AELB, l'AESN, l'AERMC, ainsi que d'autres institutions de niveau régional comme le Conseil régional, la DREAL, l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) et Météo-France. Il était réuni par Alterre environ une fois par an afin d'informer les partenaires de l'état d'avancement du projet et de prendre des décisions lorsque nécessaire.

Ensuite, un comité d'orientation scientifique réunissait les organismes de recherche impliqués et Alterre afin de suivre plus finement l'état d'avancement des travaux et d'assurer leur transversalité. Il s'est réuni environ trois fois par an et a constitué un lieu de discussion et de co-construction au fil du projet.

Enfin, le projet n'aurait pas pu fonctionner sans les rencontres régulières avec les acteurs du territoire, qui, selon les sujets et les étapes du projet, ont permis de recueillir les avis et besoins des acteurs du territoire afin de proposer des résultats opérationnels, adaptés aux réalités de terrain, de co-construire des étapes du projet permettant d'aller jusqu'au bout de la logique de « recherche-action » et de restituer une partie des résultats du projet pour s'assurer de leur appropriation.

Cette gouvernance en trois parties a permis d'assurer la transversalité du projet et de maintenir un lien fort avec les acteurs du territoire bourguignon tout au long du projet.

Les territoires occupent aussi une place centrale dans les travaux d'HYCCARE car ils en sont à la fois le support et la cible. Une attention méthodologique particulière a été portée pour mieux connaître les bassins versants bourguignons et choisir ceux à approfondir. Parmi les différents critères utilisés, deux ont prévalu : leur représentativité et la cohérence des choix entre les différents travaux de recherche (modélisation hydro-climatique, territoires en schémas

d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), territoires en contrat…). Ainsi, 12 des 13 bassins versants sélectionnés ont fait l'objet d'études dans les deux axes du projet. Trois d'entre eux ont particulièrement été analysés : ceux de la Tille, de l'Armançon et de l'Arroux. Cette superposition des terrains d'études a favorisé les échanges entre disciplines et la mise en perspective des différents résultats les uns par rapport aux autres. Elle a également permis de présenter aux acteurs des travaux concernant leur propre territoire, notamment lors des ateliers du climat, ce qui favorise leur appropriation et leur mise en débat.

Résultats et perspectives

Les travaux d'HYCCARE montrent que le changement climatique est déjà en cours en Bourgogne, avec une hausse de 1°C des températures moyennes annuelles depuis les décennies 1960-1970. Ce réchauffement fait suite à une rupture climatique observée en 1987-1988. Le cumul annuel moyen des précipitations est resté constant, alors que les débits observés ont globalement diminué en lien avec l'augmentation de l'évapotranspiration.

Les simulations du bilan hydrique suggèrent une baisse du nombre de jours de percolation et une augmentation du nombre de jours de stress hydrique avec des disparités territoriales nettes. Les projections climatiques à l'horizon 2098 simulent, comme pour l'observation, une accélération du réchauffement climatique par paliers successifs (les ruptures seraient de plus en plus rapprochées et, au sein d'un même palier, la température moyenne augmenterait encore) surtout à partir de la seconde moitié du XXIe siècle, ampleur dépendant des quantités de l'atténuation des émissions des gaz à effet de serre. Cette hausse supplémentaire des températures devrait, sous l'hypothèse de précipitations constantes et toutes choses égales par ailleurs, conduire à une diminution des débits des cours d'eau avec une mise en tension sur les territoires. Il est possible d'avancer l'hypothèse d'une baisse des débits du fait de l'augmentation des températures. Cette assomption est conforme aux enseignements du passé et aux résultats d'autres projets de recherche. Un des enseignements d'HYCCARE est que, selon ce scénario, l'adaptation doit être pensée en continu car il n'y aura pas de stabilisation du climat.

HYCCARE a permis de voir que le changement climatique est perçu dans les territoires qui ont été étudiés, directement ou non (évolution de la faune et de la flore, de l'habitat, des risques, *etc*.), mais n'est pas pris en compte dans la gestion « courante » de l'eau. Si le déficit est parfois présent, il est peu visible : la question de la pénurie d'eau n'est pas vraiment posée. Pourtant, des épisodes de sécheresse ont marqué les esprits et donnent prise sur le futur. L'étude met en exergue le rôle particulier de certains « observateurs » (agriculteurs, pêcheurs, gestionnaires de Voies navigables de France) qui gardent des traces datées et quantifiées des changements. Mais,

pour l'instant, la pénurie n'est pas formulée comme problème durable, du fait du caractère transitoire du déficit et de son traitement technique par des échanges avec les territoires voisins où l'eau est disponible. Les impacts du changement climatique et de la moindre disponibilité de l'eau se concrétisent néanmoins de plus en plus dans les territoires et ce n'est donc pas, ou plus, une réalité lointaine, future et globale. Ils invitent à une réelle réflexion prospective collective sur les moyens d'adaptation.

Le projet montre finalement qu'une connaissance incertaine sur l'évolution de la ressource en eau n'est pas un frein à l'action. La construction d'une connaissance partagée entre chercheurs et observateurs de terrain permet d'initier un débat sur les impacts du changement climatique à une échelle locale et sur les actions d'adaptation. L'implication des acteurs locaux était prévue dès le départ du projet, afin de prendre en compte leur expertise locale et de leur transmettre les résultats efficacement. Mais le projet a finalement été plus loin puisqu'à plusieurs reprises, les acteurs ont été co-décideurs, en particulier lors des ateliers de design territorial et lors de la réflexion sur les indicateurs hydrologiques à calculer. Les travaux de recherche en ont été enrichis mais aussi infléchis. Le projet n'a pas pu proposer de simulations complètes et robustes sur l'évolution des pluies et des débits. Les ateliers du climat se sont appuyés sur la méthode de design territorial et sur une co-construction avec les acteurs du territoire. Ces ateliers se sont révélés être un des leviers pour penser l'action et imaginer les futurs possibles malgré les incertitudes, à la condition cependant de clairement expliciter ces dernières.

Les acteurs de la gestion de l'eau rencontrés au fil du projet ont ainsi acquis des connaissances sur le changement climatique en Bourgogne. Des passerelles ont été établies entre les mondes souvent trop cloisonnés de la recherche, des institutionnels, des gestionnaires de l'eau et des usagers.

Nuances et besoins futurs de la recherche

Le projet a eu des résultats méthodologiques importants, en particulier grâce aux choix initiaux relativement originaux (modèle de climat régional, simulations en continu, chaîne hydroclimatique, travaux exploratoires sur le foncier agricole...) et a ainsi ouvert plusieurs pistes à explorer. La vraie pluridisciplinarité et la co-construction au sein des axes, entre les axes et avec les acteurs du territoire, a été la marque de fabrique et d'évolution du projet, rendant le tout cohérent et multiforme.

Les perspectives qui s'ouvraient au sortir de ce projet étaient de deux ordres. Elles concernaient d'une part la valorisation des résultats et leur traduction concrète dans les territoires. Au-delà de la nécessaire diffusion des données produites et des productions réalisées (cartes, rapports, synthèses...), une valorisation des travaux devait effectivement être planifiée. Alterre prévoyait par exemple de rappeler les principaux résultats dans sa publication « Repères » en 2017 et de travailler sur les suites à donner aux ateliers du climat. Une boîte à outils ou un kit de

sensibilisation au changement climatique devait voir le jour pour permettre aux animateurs des bassins versants de travailler sur ces questions avec les acteurs locaux.

D'autre part, les perspectives en termes de travaux de recherche étaient multiples : amélioration des simulations des précipitations, analyse de l'évolution du stress hydrique et de la percolation sur les dix autres bassins versants, travail sur les impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau, simulation de l'évolution du prix du foncier agricole sous l'effet du changement climatique à venir, travaux sociologiques sur l'irrigation de demain, *etc*.

Principales valorisations des recherches

Le projet HYCCARE a eu dès le départ vocation à produire des éléments opérationnels, appropriables par les acteurs, son objectif étant d'aider à la prise en compte du changement climatique dans les politiques de gestion de l'eau. Les résultats ont été valorisés sous de multiples formes scientifiques (articles, communications, *etc*.) et non scientifiques (synthèses, comptes-rendus, articles de presse, *etc*.). Les partenaires du projet ont mis à disposition des connaissances adaptées aux besoins des acteurs via internet (plateforme collaborative Agora, site d'Alterre, GéoBourgogne, *etc*.). Les résultats ont aussi été partiellement restitués auprès des acteurs à de nombreuses reprises via des réunions, conférences et ateliers. Enfin, un séminaire final de restitution a été organisé à la fin du projet afin de transmettre les conclusions du projet et de les confronter au point de vue des acteurs, en plus des restitutions ayant pris place tout au long du projet. Rassemblant 130 personnes, il a permis un débat ouvert avec gestionnaires de l'eau, élus locaux, institutionnels, associations, agriculteurs, *etc*.

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page internet d'HYCCARE Bourgogne et y télécharger le rapport final du projet.

REMEDHE

« Impacts des changements climatiques et anthropiques sur la gestion quantitative des Ressources en Eau en MÉDiterranée : évaluation comparative Hérault-Ebre »

Responsables, partenariats

- Coordinateur : Denis Ruelland, CNRS, HydroSciences Montpellier (HSM).
- Organismes et laboratoires impliqués dans le projet : UMR HydroSciences Montpellier — Institut de recherche pour le développement (IRD), CNRS, université de Montpellier (UM) ; UMR LSCE (Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement) — Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), CNRS, université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines ; Syndicat mixte du fleuve du bassin du fleuve Hérault ; Confédération hydrographique de l'Ebre (CHE).

Financements

Budget total : 221 689 €.

Subvention allouée par le MEDDE : 221 689 €.

Mots-Clés

Usages de l'eau, changement climatique, impacts, intégration, vulnérabilité, adaptation, incertitudes.

Introduction

Le projet REMedHE (2012 à 2016) concerne les impacts des changements climatiques sur la gestion quantitative des ressources en eau en méditerranée et réalise une évaluation comparative Hérault-Ebre. Il associe scientifiques et gestionnaires de bassin pour proposer une approche originale d'évaluation des évolutions à moyen terme des équilibres entre usages et disponibilité de l'eau à l'échelle d'hydrosystèmes.

Au cours des dernières décennies, les ressources en eau de ces bassins ont été soumises à une pression croissante en raison d'une importante variabilité climatique et de changements dans les

principaux secteurs de la demande en eau (irrigation, approvisionnement en eau potable, activités touristiques). À cause d'une demande croissante d'approvisionnement en eau potable dans le bassin de l'Hérault et d'un développement agricole marqué dans le bassin de l'Ebre, la capacité future d'allocation de l'eau est préoccupante dans les deux bassins où un changement climatique important est attendu.

Le changement climatique et les évolutions anthropiques récentes et à venir dans la région amènent à réfléchir sur cet équilibre entre usages et ressources en eau. Celui-ci dépend de l'évolution conjuguée de l'état quantitatif de la ressource et des usages anthropiques et environnementaux. Les initiatives en cours au début du projet dans le domaine de l'adaptation de la gestion de l'eau au changement climatique ne prenaient en compte qu'une connaissance limitée de la vulnérabilité des hydrosystèmes. Ce constat a donc incité les porteurs du projet à s'engager dans l'étude de cette vulnérabilité dont l'évaluation nécessite l'intégration de processus physiques et humains ainsi que la représentation de leurs interactions dans l'espace et le temps.

Le projet étudie les interrelations complexes entre forçages climatiques, pressions humaines et écoulements à des échelles opérationnelles sur deux hydrosystèmes méditerranéens. Les deux bassins concernés sont ceux de l'Hérault (2 500 km²) en France et de l'Ebre (85 000 km²) en Espagne. Un cadre de modélisation intégrant les dynamiques hydro-climatiques et des activités humaines ainsi que les liens entre demandes et ressources en eau a été développé et appliqué sur les deux bassins d'échelles différentes et aux usages de l'eau contrastés.

Objectifs

Afin de répondre au besoin d'adaptation de la gestion de l'eau sur ces deux bassins versants en tenant compte des principaux acteurs et facteurs pouvant influencer la ressource en eau ou ses usages, l'équipe de chercheurs de REMedHE a décidé de réaliser une modélisation intégrée des équilibres ressources-usages de l'eau.

Pour cela, une chaîne de modélisation intégrée de ces équilibres ressources-usages de l'eau a été développée de manière à : (i) représenter le fonctionnement de ces hydrosystèmes et leur évolution sur les 40 dernières années ; (ii) proposer des scénarios hydrologiques sous contrainte de changement climatique et d'évolution des usages de l'eau à moyen terme (2050) ; (iii) évaluer le niveau d'adéquation entre la disponibilité et la demande en eau à travers des indicateurs liés aux objectifs de planification ; (iv) tester des stratégies d'adaptation à travers une co-construction de scénarios avec les gestionnaires de bassin.

Implémenter une méthodologie commune aux deux bassins versants malgré leurs différences notables visait à tester la robustesse et la généricité de cette méthodologie. Ainsi, elle pourrait être réutilisée et adaptée à d'autres hydrosystèmes. La méthodologie devait permettre de répondre aux questions suivantes : l'évolution attendue en termes d'usages de l'eau est-elle

compatible avec les changements climatiques projetés ? Les demandes en eau seront-elles satisfaites dans le futur ? Quel pourrait être l'impact de stratégies d'adaptation sur l'amélioration de la capacité d'allocation en eau à moyen terme ?

Déroulement du projet

Deux équipes de recherche se sont associées avec deux organismes de gestion de bassins sur le projet REMedHE. Les deux équipes de recherche étaient issues de HydroSciences Montpellier (HSM) et du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE). Les deux organismes de gestion de bassins étaient le Syndicat Mixte du Bassin du Fleuve Hérault (SMBFH) et la *Confederación Hidrográfica del Ebro* (CHE). Six groupes de travail (GT 0 à 5) ont été mis en place pour remplir les différents objectifs et tâches du projet. Le GT 0 avait comme tâche la coordination et l'animation du projet, le GT 1 se chargeait du système d'information et des bases de données, le GT 2 des scénarios climatiques et le GT 3 des scénarios d'usages et des stratégies d'adaptation. Le GT 4 était lui positionné sur les tâches de modélisation intégrée des hydrosystèmes et le GT 5 étudiait les indicateurs d'impacts et la vulnérabilité.

Le projet a donc comporté la conception et la mise en place d'un cadre de modélisation intégrée prenant en compte les interactions entre disponibilité et demande en eau pour analyser leur évolution et l'équilibre qui en résulte. La modélisation s'est déroulée en trois étapes : (i) la représentation de la dynamique spatio-temporelle des usages (municipaux, d'irrigation, industriels et énergétiques) et des demandes en eau associées ; (ii) la simulation des écoulements naturels et de leur perturbation par les principaux ouvrages hydrauliques et prélèvements ; et (iii) l'évaluation des équilibres usages-ressources en eau au travers d'indicateurs sur la fréquence et l'intensité des restrictions sur les prélèvements.

Pour considérer la complexité de la gestion de l'eau au sein des deux hydrosystèmes, une schématisation fonctionnelle de nœuds principaux de disponibilité et de demande a été mise en place et a permis d'analyser l'influence anthropique sur les écoulements. Le calage de la chaîne de modélisation et l'analyse des évolutions passées des débits et de la satisfaction des demandes en eau ont suivi. Après cette étude des variations et usages passés, les chercheurs se sont penchés sur les projections hydro-climatiques et d'usages à l'horizon 2050, sur les écoulements naturels et sur les tendances des usages et demandes en eau. Grâce à tout cela, l'équipe a pu vérifier l'adéquation entre ressource et demande en eau à l'horizon 2050, en appliquant la chaîne de modélisation sur des combinaisons de scénarios climatiques et d'usages de l'eau. De cette analyse sont sortis des indicateurs de stress hydrique, l'évolution de la satisfaction des demandes en eau et la pression anthropique sur les écoulements. Enfin, l'efficacité et la robustesse de

stratégies d'adaptation combinant plusieurs mesures visant à réduire les restrictions sur la demande en eau sous contrainte de scénarios climatiques et d'usages de l'eau ont été testées.

Résultats et perspectives

L'étude des projections hydro-climatiques et d'usages à l'horizon 2050 a montré que les bassins seraient soumis à des conditions climatiques plus déficitaires par association d'une augmentation des températures et d'une diminution des précipitations printanières et estivales, ainsi qu'à des pressions anthropiques croissantes à cause d'un accroissement de la population et des surfaces irriguées. La ressource en eau disponible devrait sensiblement diminuer et les demandes municipales et d'irrigation devraient augmenter sur les deux bassins. Un des scénarios d'adaptation combinant différentes mesures (par exemple le maintien des surfaces irriguées, la stagnation de la population résidente, la baisse de la demande en eau domestique unitaire) pourrait réduire le stress hydrique, mais serait insuffisant face aux incertitudes climatiques. À l'avenir, une complémentarité devra être trouvée entre études quantitatives à l'échelle des bassins versants et études locales de la vulnérabilité socio-économique et des capacités d'adaptation.

Avancées et apports

Le projet REMedHE a permis des avancées dans plusieurs domaines, notamment sur la méthodologie, sur la gestion de l'eau des deux hydrosystèmes - dont la connaissance du stress hydrique - et sur la capacité d'adaptation des bassins versants au changement climatique.

Les avancées méthodologiques tiennent surtout au fait que les méthodes proposées pour cette étude ont montré leur généricité et transposabilité pour évaluer l'évolution des équilibres ressource-demande, tout en représentant des liens entre ressource et demande en eau dans des hydrosystèmes complexes, en prenant en compte des dynamiques spatio-temporelles multi-décennales des déterminants à la fois climatiques et anthropiques. La chaîne intégrative de modélisation développée, qui combine données hydro-climatiques et socio-économiques, a permis d'analyser les évolutions passées et de simuler les risques de restrictions au sein des bassins. La prise en compte des activités humaines sur la disponibilité en eau à travers la simulation du fonctionnement des barrages-réservoirs représente aussi une avancée considérable.

Le projet a aussi apporté de nombreux éléments de connaissance utiles pour la gestion de l'eau sur les deux hydrosystèmes. Le processus menant au stress hydrique a été étudié en retraçant

l'évolution, par simulation, des équilibres entre disponibilité et demande sur plusieurs décennies, permettant ainsi d'envisager les évolutions futures possibles. Les résultats ont montré des évolutions hétérogènes du stress hydrique au sein des hydrosystèmes et selon les priorités d'allocation en eau. On a observé des différences de causalité pour les déséquilibres ressource-demande, qui parfois reposent sur des conditions climatiques plus chaudes et sèches, mais d'autres fois sont dues principalement à l'extension des surfaces irriguées et l'augmentation de la population. Ces causes d'évolution du stress hydrique sont aussi variées entre les sous-bassins d'un même hydrosystème qu'entre les hydrosystèmes de l'Ebre et de l'Hérault. Ces avancées sur les causes du stress hydrique dans les deux hydrosystèmes ont à leur tour permis de réaliser des projections de stress hydrique pour assurer une meilleure gestion de la ressource en eau à l'avenir, alors que la durabilité des usages est remise en question sur les deux bassins.

Au final, les projections d'usages de l'eau dans les deux bassins présentent un risque très important de non viabilité dans les scénarios de changement climatique. Les scénarios d'adaptation testés pourraient permettre d'atteindre une certaine capacité d'adaptation à ces changements et donc de réduire sensiblement le stress hydrique par rapport au scénario tendanciel qui s'appuie sur les projections démographiques locales et sur la prolongation des projections territoriales fournies par les gestionnaires de bassin pour 2030. Ils mèneraient à une réduction de la fréquence et de l'intensité des restrictions sur les prélèvements, une baisse de la consommation nette et cela malgré une baisse des débits seuils environnementaux. Toutefois, des incertitudes demeurent quant aux projections des impacts des changements climatiques, ce qui pourrait nécessiter des mesures d'adaptation plus drastiques, des actions plus coûteuses comme l'augmentation de la capacité de stockage, ou des transferts d'eau entre bassins. Côté réduction de la demande, des solutions sont aussi envisageables, comme la réduction des surfaces irriguées, les changements de types ou de variétés de cultures, ou les économies d'eau par réfection des réseaux, entre autres. La chaîne de modélisation de REMedHE peut permettre de tester ces mesures individuelles ou combinées, mais leur mise en place dépendra des choix de planification et des décisions politiques.

Nuances et besoins futurs de la recherche

Outre les incertitudes liées aux projections climatiques, d'autres limites à la réalisation des objectifs de REMedHE ont été remarquées.

Le manque de données d'observation, des informations incomplètes et peu précises sur les écoulements naturels, des hypothèses retenues discutables sur les efficiences hydrauliques et sur les taux de pertes, de consommation et de retours des usages municipaux et d'irrigation, tout comme des incertitudes cumulées des différentes modélisations, sont autant de raisons de nuancer les résultats obtenus et la validation de la chaîne de modélisation mise en œuvre.

De la même manière, malgré un effort d'intégration de facteurs physiques et humains dans cette chaîne de modélisation, d'autres déterminants comme les modifications du couvert végétal ou de l'occupation des sols n'ont pas été inclus dans les simulations. Les relations eaux de surface et eaux souterraines ont aussi été peu prises en compte. L'approche développée dans le projet concernant les déterminants socio-économiques est aussi incomplète et des études additionnelles sur la vulnérabilité sociale et sur la capacité d'adaptation seraient nécessaires pour permettre par exemple de créer ou prévoir des mécanismes socio-économiques de gestion équitable des restrictions en eau.

Ces analyses complémentaires sont à mener plus localement, en tout cas en examinant le sujet à une échelle plus fine que les plans de gestion des bassins. Pour trouver un équilibre durable entre demande et disponibilité de la ressource en eau, il faudra travailler de manière conjointe sur des études quantitatives du stress hydrique à l'échelle d'hydrosystèmes et sur des évaluations locales de la vulnérabilité et l'adaptation.

Principales valorisations des recherches

Le canal de communication privilégié pour le projet a été celui d'un site internet (valide le temps du projet), qui dispose d'un volet communication au grand public ainsi que d'un volet intranet, mis à disposition du consortium afin de centraliser données et publications. Les sources de données y ont été inventoriées, critiquées et validées dans une démarche de contrôle de leur qualité. Le site a ainsi permis l'accès à de nombreuses données, mais également à des valorisations comme des publications ou des posters et enfin à des documents techniques de gestion du projet. Il a eu également pour but de référencer des images de stations, barrages et autres ouvrages hydrauliques.

Le projet a été mentionné dans de nombreuses publications, à savoir neuf articles à comité de lecture, neuf communications avec actes publiés, neuf communications sans actes, quatre posters scientifiques, quatre mémoires et deux articles de vulgarisation. L'ensemble des travaux et réalisations ont été synthétisés dans un rapport final de 127 pages adressé au MEDDE en 2016.

Enfin, a été organisé le 21 novembre 2014 un séminaire avec les acteurs du bassin de l'Hérault, sur le thème de la vulnérabilité des hydrosystèmes face aux changements climatique et anthropiques. Cette journée d'échanges, réunissant scientifiques – dont bon nombre étaient rattachés à l'Institut montpelliérain de l'eau et de l'environnement (IM2E) –, gestionnaires et acteurs locaux du bassin de l'Hérault, fut l'occasion de confronter les retours d'expérience à mi-parcours du projet GICC REMedHE avec d'autres projets terminés, mais également d'échanger avec des acteurs locaux sur les résultats obtenus jusqu'alors sur le bassin de l'Hérault.

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page internet de REMedHE et y téléchargez le rapport final du projet.

VIADUC

« Valoriser DRIAS et Innover sur l'Adaptation grâce au Design, avec des Usagers concernés par le Climat »

Responsables, partenariats

- Responsable du projet : Philippe Dandin, directeur de la Climatologie à Météo-France jusqu'en novembre 2013, puis directeur adjoint du Centre national de recherches météorologiques (UMR 3589) — CNRS, Météo-France.
- Porteurs du projet : Météo-France.
- Partenaires : Agence régionale pour l'environnement (ARPE) ; Parc naturel régional (PNR) du Haut-Languedoc ; Parc naturel régional des Grands Causses ; Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises ; GéoSpective ; Strate, école de design.

Financements

Budget total : 417 281 €.

Subvention allouée par le MEDDE : 315 807 €.

Mots-Clés

Changement climatique, design de services, météorologie et climat, impacts et adaptation, territoire, représentation.

Introduction

Le projet VIADUC, pour « Valoriser DRIAS et innover sur l'adaptation grâce au design, avec des usagers concernés par le climat », était un projet d'amélioration et de valorisation de ce qui a été fait avec la mise en place du service « DRIAS, les futurs du climat » par Météo-France et ses partenaires, l'Institut Pierre-Simon Laplace et le Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique (CERFACS). DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques régionalisés français pour l'impact et l'adaptation de nos sociétés et environnement) avait mis à disposition les scénarios climatiques régionalisés français sous formes de cartographies et de

données numériques. VIADUC avait pour but de dépasser cette mise à disposition et de véritablement comprendre ce dont ont besoin les usagers : quoi et comment ? VIADUC se proposait de réunir, autour de DRIAS, les climatologues et organismes scientifiques, ainsi que les utilisateurs concernés par l'adaptation comme les citoyens, les techniciens et les élus. Son originalité venait de la méthode de design de services employée. Pour cela, le projet a échangé avec les partenaires et les divers acteurs et a réalisé des interventions écrites ou orales. Le projet a été conçu en deux phases, une d'écoute et de facilitation d'actions sur le terrain, l'autre de réalisations avec les équipes de Météo-France.

VIADUC a conduit à repenser une distinction entre météorologie et climat qui n'a pas véritablement de sens pour les utilisateurs. Ce projet, s'appuyant sur des rencontres avec des utilisateurs concernés dans les territoires, a pu proposer des pistes de réflexion et des suggestions pour les climatologues, météorologues et autres créateurs d'informations liées à la variabilité et au changement climatiques. Plusieurs de ces résultats ont été mis en œuvre par la direction de la Climatologie et des Services météorologiques de Météo-France dans les années suivantes.

Objectifs

Les objectifs de départ étaient au nombre de trois : aller plus loin que ce qui est proposé en 2012 par le service « DRIAS, les futurs du climat » ; sensibiliser le plus grand nombre aux projections climatiques en s'adressant à tous les acteurs ; repenser la distinction entre météorologie et climat.

Par la suite, les objectifs se sont affinés selon les trois pistes suivantes :

- Améliorer la prestation rendue par tous les acteurs pour servir les démarches d'adaptation (principalement Météo-France, mais avec l'objectif d'agir au-delà sur les autres organismes nationaux). Afin de toucher le plus grand nombre d'utilisateurs, le projet VIADUC souhaitait analyser toutes les questions qui touchaient à l'organisation et à la diffusion de l'information climatique, à l'accompagnement des acteurs et leur formation et à la coordination des initiatives et des actions menées par les organismes nationaux. Cette analyse devait permettre de mieux répondre à la question de l'adaptation. En favorisant le dialogue entre tous les acteurs, l'objectif était d'accompagner les organismes nationaux pour ouvrir l'information à tous et non plus seulement aux utilisateurs « intermédiaires ».
- Réfléchir sur le climat dans les territoires en liant passé, présent et futur. Le but de ce volet était d'intégrer les projections climatiques dans ce continuum temporel. Cela passait par l'établissement de perspectives chronologiques contenant des références contemporaines de celles de l'audience adressée. Il a fallu utiliser des repères sensibles pour les utilisateurs, un référentiel cohérent et compréhensible et un cadre temporel connu et familier (jour/

mois par exemple). L'idée était ainsi de solliciter la mémoire collective pour « imager » le futur et créer un procédé de cheminement. Le rôle du designer de services a a été très important pour cette étape du projet.

- Rendre l'information climatique plus lisible et les projections climatiques plus satisfaisantes pour les utilisateurs. Face au constat de la complexité de l'information climatique pour les non-initiés, le projet VIADUC se donnait pour objectif d'adapter cette information à son récepteur en la rendant moins impersonnelle et décontextualisée (comme la façon dont les projections mathématiques de DRIAS pouvaient être perçues par les utilisateurs). Cet enjeu était d'autant plus important qu'il fallait impliquer les utilisateurs et les faire passer à l'action. Cela n'était possible que si l'on adaptait les scénarios climatiques au référentiel intellectuel, à l'agenda de l'utilisateur et à ses outils quotidiens et si on prenait en compte le contexte personnel (problématiques locales, projets personnels de l'utilisateur). Sur ce sujet, les objectifs de VIADUC pouvaient finalement se synthétiser sur ces deux problématiques : standardiser et vulgariser les codes de la projection climatique et amener les signaux des projections au plus près des utilisateurs.

Déroulement du projet et méthodes

Le projet s'est déroulé en deux phases principales : une phase d'écoute et de facilitation d'actions sur le terrain et une phase de réalisations avec les équipes de Météo-France.

L'une des approches principales et innovantes du projet a été celle du design de service, c'est-à-dire s'intéresser à la forme des services proposés du point de vue de l'utilisateur pour s'assurer que l'interface et les informations fournies seraient utiles et utilisables facilement. Le projet VIADUC a associé climatologues et designers de services pour analyser les besoins que soulevaient ces thématiques. Partant en effet du constat que les projections climatiques n'étaient pas assez satisfaisantes pour l'utilisateur, VIADUC estimait que la solution passait par la modification de la présentation de ces projections en les adaptant aux besoins de l'utilisateur. Ces modifications supposaient une transformation de la forme des projections, une lisibilité créée par des codes et des standards et l'ajout nécessaire d'éléments capables d'intégrer l'utilisateur dans la projection. La méthode de VIADUC consistait donc en une médiation entre le monde scientifique et les utilisateurs.

Pour ces raisons, la principale phase du projet VIADUC a été une phase d'écoute et de facilitation d'actions sur le terrain. Ce fut notamment le cas dans les Parcs naturels régionaux (PNR) associés au projet où VIADUC a surtout facilité la concertation entre les acteurs, écoutant les besoins des différents organismes pour y associer une expertise scientifique personnalisée à travers l'apport

de climatologues ou l'assistance de Météo-France. Avec le design de service, l'idée était donc d'adapter les informations climatiques aux besoins concrets des utilisateurs.

Résultats et perspectives

Tout d'abord, VIADUC a permis de dégager un certain nombre de constats. Le projet soulignait qu'il y a toujours un besoin d'informations climatologiques et météorologiques sur le diagnostic, qu'il faut faciliter les actions des communautés impliquées sur les impacts et l'adaptation, utiliser les codes du territoire pour parler du territoire et également s'appuyer sur les acteurs référents comme Météo-France, qui est une autorité reconnue car engagée chaque jour. Le projet rappelait également que convaincre sur le climat est une tâche difficile qui attire peu, d'où la nécessité de trouver des procédés pour accrocher l'utilisateur et susciter son intérêt et son implication, clés pour son passage à l'action. Dans ce cadre il était néanmoins nécessaire de mener un travail d'identification des cibles pour éviter le problème de la dispersion de l'information et de la dispersion des actions qui manquent souvent d'un plan d'ensemble malgré leur nombre très important.

Le principal travail de VIADUC a donc été d'interroger la manière dont l'information est transmise à l'utilisateur. L'information doit toujours permettre de mettre en avant un cheminement. L'important est donc de la contextualiser afin qu'elle soit pertinente et adaptée à l'utilisateur, qu'elle soit localisée pour permettre d'aller du local au sujet global et historicisée pour solliciter la mémoire collective ou individuelle afin que l'utilisateur « image » le futur. Mais sa représentation doit aussi en être facilitée en étant lisible avec des codes clairs et surtout pédagogiques. VIADUC souhaitait ainsi aller vers des représentations progressives qui vont du simple au complexe et qui sont dynamiques et participatives.

Sur la phase d'écoute et d'analyse, le projet VIADUC a pu identifier un certain nombre de besoins pour aller plus loin dans cette construction d'une stratégie orientée sur l'utilisateur.

En premier lieu, il y avait un besoin de cohérence et d'intégration. Le constat fait est celui de la dispersion des offres faites par les opérateurs de l'Etat sur les projections. Il était donc nécessaire pour le projet VIADUC de parvenir à une plus grande coordination des productions d'informations afin de les proposer aux utilisateurs de manière structurée. Les pistes du projet envisageaient de développer les scénarios de référence réplicables à différentes échelles, de créer une stratégie systématique de production de grandes études d'impacts sur les principaux besoins nationaux et de mettre en place une présentation organisée des travaux par les différents opérateurs de l'État.

Venait ensuite un besoin de représentation et de narration. Le but était ici de simplifier la représentation toujours trop technique des supports utilisés en climatologie, tout en construisant

ces nouvelles représentations à travers une narration avec les interlocuteurs (permettant de lier passé, présent et futur). Cette narration devait permettre une sensibilisation progressive à la complexité du sujet, une mise en perspective plus efficace et une participation active de l'utilisateur destinataire. *In fine*, l'objectif était d'aider l'utilisateur à percevoir concrètement les effets du changement climatique pour éveiller son intérêt. Il y avait également un besoin de simplification avant une complexification progressive. L'objectif devait être de présenter les informations dans le langage des destinataires avec des messages clés et des informations simples, crédibles et porteuses d'éléments palpables pour l'utilisateur (d'où la réflexion sur les formes de la diffusion de cette information, son contexte, son ancrage local…). À cette condition seulement, l'utilisateur pouvait être sensibilisé à des concepts plus compliqués. L'utilisateur devait aussi avoir accès aux données du passé en lien avec des projections climatiques futures pour établir le lien entre les temporalités, et notamment aux données considérées comme personnellement importantes pour lui (données locales, images, histoire). L'enjeu suivant était de réussir à les représenter clairement pour l'utilisateur et à les lier par des codes de représentation, par une ergonomie générale du service et par une intégration des données dans les outils du quotidien des acteurs concernés.

On retrouve à travers VIADUC un besoin de considérer comme un tout « le temps et la durée ». Grâce aux rencontres avec les forestiers et les agriculteurs, le projet VIADUC a mis en lumière que les acteurs n'agissent pas tous sur le même temps (temps long pour les forestiers, temps court pour les agriculteurs par exemple) et qu'il convient d'amener les uns et les autres à s'intéresser à des échéances inhabituelles jusqu'alors pour chacun d'eux. VIADUC soulignait donc la nécessité de développer une culture météo-climatique qui dispose d'informations mobilisant toutes les échéances, ainsi que l'élaboration de produits capables de diffuser ces informations (en gardant en tête les constats précédents).

Le dernier constat tourne autour du besoin d'accompagnement et donc du nécessaire développement de l'offre d'accompagnement des acteurs (formation, dialogue, réflexion en commun). Il faut identifier les acteurs-leviers qui doivent être intégrés à la construction de réflexions contextualisées. Le projet VIADUC estimait par exemple que les élus sont capables de connecter les données scientifiques aux enjeux locaux. C'est dans ce contexte qu'il faut les accompagner et travailler auprès d'eux, même si la manière de conduire cet accompagnement reste ouverte à la réflexion.

Résultats

Le projet le reconnaissait lui-même : « Si les constats sont nombreux, il reste plus difficile de définir des réalisations qui leur répondent ». Les compétences pour les réaliser manquaient dans l'équipe projet. Néanmoins, le projet VIADUC a fortement collaboré avec Météo-France, notamment, qui a permis une diffusion des idées et des réflexions sur le projet. Des

collaborations ont eu lieu sur des services à destination du grand public comme l'application Climat-HD, un service synthétisant les derniers travaux des climatologues à travers des messages clés et des graphiques intégrant les principes de VIADUC de simplicité, d'utilisation des codes de représentation ou encore la possibilité de contextualiser localement. L'effort a été aussi visible dans la production de longues séries de données homogénéisées, permettant comme le souhaitait le projet VIADUC une meilleure liaison entre passé, présent et futur.

Dans la phase de proposition, il y a également eu celle baptisée « Midi-Pyrénées Open Climat » qui consistait à intégrer les informations climatiques dans les outils du quotidien des acteurs concernés afin de s'éloigner des traditionnels portails d'informations.

Enfin, VIADUC a surtout travaillé avec trois Parc nationaux régionaux, à savoir le PNR des Grands Causses, le PNR des Pyrénées Ariégeoises et le PNR du Haut-Languedoc. Dans ce cadre, on peut noter plusieurs actions entreprises avec la principale vocation de sensibiliser les acteurs de ces parcs au changement climatique et à la nécessité d'adaptation.

Dans le PNR des Grands Causses, parc de l'Aveyron où l'agriculture est d'une importance capitale, l'action s'est concentrée autour de la sensibilisation des agriculteurs. Des réunions de travail ont eu lieu avec la Chambre d'Agriculture, des établissements scolaires et les différents acteurs des organismes locaux. Les informations climatiques, notamment celles du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), y ont été présentées. Un travail de recherche a aussi été mené sur le séchage solaire de fourrage en grange et un film d'animation a été réalisé durant l'hiver 2015/2016 pour vulgariser la question du changement climatique en milieu agricole. Le bilan montrait que la sensibilisation chez les agriculteurs reste très variable, mais que les actions entreprises ont permis une clarification du rôle de chaque acteur et malgré tout une prise de conscience sur certains sujets comme la question de l'évolution technique des exploitations, le changement des réglementations et l'utilisation de nouvelles semences plus résistantes à la sécheresse, qui est l'un des principaux problèmes de la région pour les agriculteurs. Sur ce point, le projet VIADUC a notamment travaillé à établir des narrations et des séries de données statistiques passées et futures sur l'humidité des sols en Aveyron.

Dans le PNR des Pyrénées Ariégeoises, le projet VIADUC a travaillé avec la filière du bâtiment sur la question de l'intégration du changement climatique à l'urbanisme et l'aménagement. Une phase de sensibilisation des acteurs a eu lieu à partir de décembre 2013 à travers des échanges, des présentations d'informations et cela notamment avec les élus. Le Parc a ensuite travaillé sur le portail « DRIAS, les futurs du climat » afin de dégager des cartographies sur les évolutions climatiques de la région. Une formation sur l'outil a eu lieu et a permis aux porteurs du projet VIADUC de tirer plusieurs conclusions sur les utilisations du logiciel, notamment le manque de contextualisation locale possible et sa trop grande complexité scientifique.

Le PNR du Haut-Languedoc souhaitait réaliser un « atlas pédoclimatique forestier » afin de mieux prévoir l'adaptation de la forêt au changement climatique et de permettre aux gestionnaires

forestiers d'adapter leurs choix d'essences à cette problématique. Il s'agissait donc de la création d'un outil de modélisation, évolutif et concret, qui servirait de passerelle entre les scientifiques et les utilisateurs (ici les forestiers). Cela s'intégrait parfaitement aux visées du projet VIADUC. Là aussi, plusieurs réunions ont eu lieu, regroupant de nombreux organismes locaux. Le bilan du projet notait notamment que l'implication des acteurs a été très forte et a été un facteur essentiel de poursuite du projet. Enfin, l'un des apports du projet provient de Météo-France qui a mis à disposition de nombreuses données pour améliorer l'outil et permettre la réussite de l'action.

Le projet soulignait cependant la nécessité de trouver des moyens qui soient réplicables ou transposables à l'ensemble du territoire et auprès de différentes communautés d'utilisateurs. Le projet a indiscutablement stimulé les trois PNR membres du projet, qui ont pu initier les dynamiques internes. L'enjeu pour Météo-France et GICC était de dépasser ce statut de sujet de recherche pour servir l'ensemble du pays. En 2021, DRIAS et les autres services visant à contribuer à la compréhension de l'enjeu climatique et à l'adaptation au changement climatique ont changé d'allure : c'est en partie grâce au projet VIADUC de GICC.

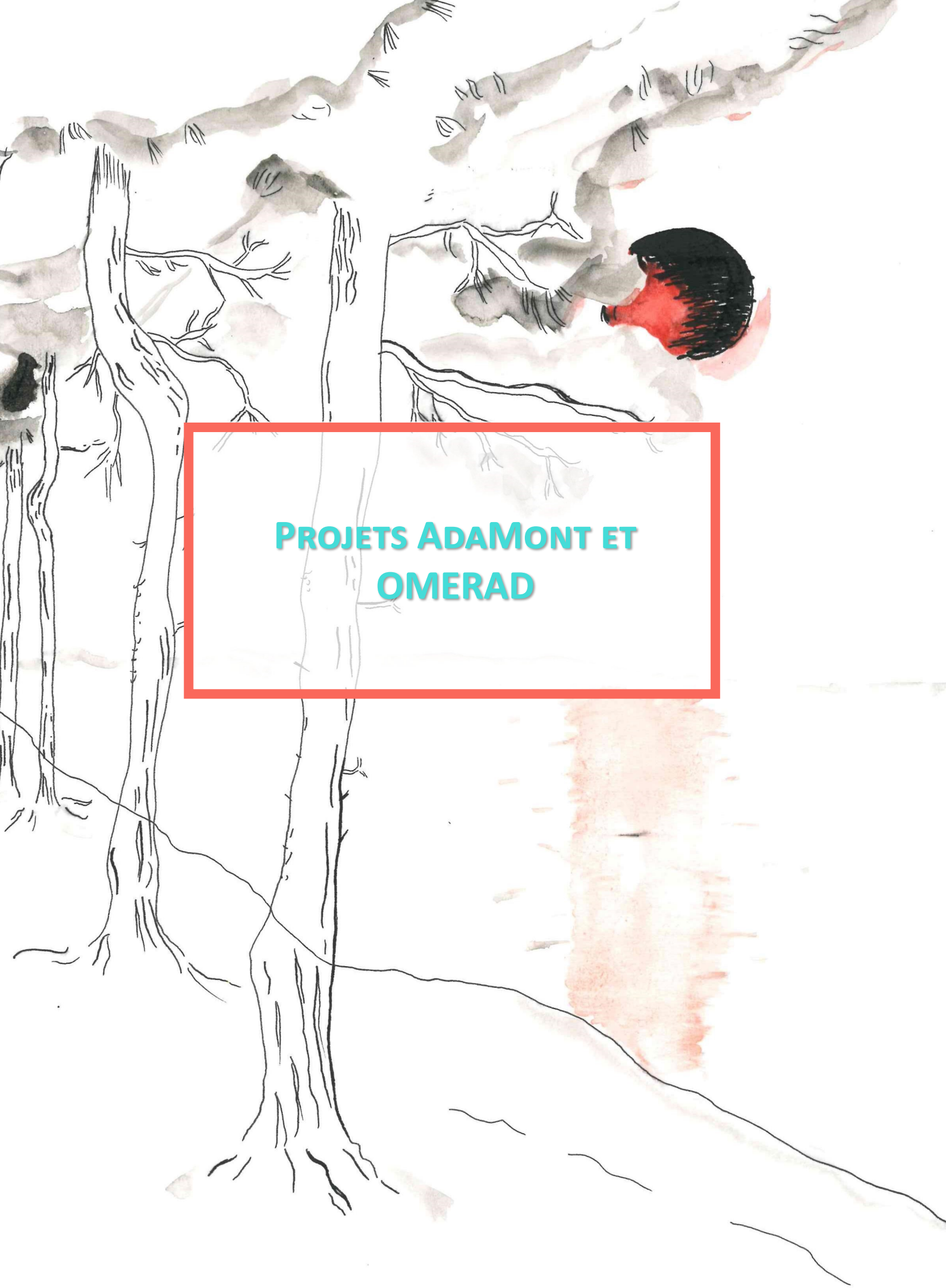
Principales valorisations des recherches

Le projet a donné lieu à un article dans une revue scientifique à comité de lecture de diffusion internationale et à une thèse professionnelle de Mastère.

La vingtaine de réunions avec les professionnels ou les élus dans les trois PNR sont des valorisations innovantes de ce type de projet. Elles ont donné lieu à de nombreuses présentations orales de vulgarisation scientifique.

Une communication remarquée de VIADUC est sa contribution à la conférence scientifique « *Our common future* » (juillet 2015).

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page internet de VIADUC et y télécharger le rapport final du projet.



Projets AdaMont et OMERAD

ADAMONT

« Impacts du changement climatique et ADAptation en territoire de MONTagne »

Responsables, partenariats

- Coordinatrices du projet : Marie-Pierre Arlot, directrice régionale à IRSTEA (devenu INRAE), centre de Grenoble ; Delphine Piazza-Morel, chargée de projet, IRSTEA, centre de Grenoble.
- Organismes et laboratoires impliqués dans le projet : IRSTEA, centre de Grenoble ; Centre d'études de la neige (CEN, Grenoble) et Groupe de météorologie de grande échelle et climat (GMGEC, Toulouse) du Centre national de recherches météorologiques (UMR CNRM – Météo-France, CNRS) ; Parc naturel régional du Vercors.

Financements

Budget total : 714 962 €.

Subvention allouée par le MEDDE : 363 742 €.

Cofinancé par l'Observatoire national des effets du réchauffement climatique (ONERC).

Mots-Clés

Changement climatique, adaptation, approche intégrée, management, planification, modélisation, base de données, organisations apprenantes, politiques publiques, services climatiques, communautés territoriales, territoire de montagne, territoires non urbains, Préalpes, normes ISO.

Introduction

Le projet AdaMont a été réalisé de 2015 à 2017, soutenu à la fois par le programme GICC et par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC). Le projet avait comme objectif de caractériser et projeter les impacts du changement climatique pour un territoire, ici les massifs et Parcs naturels régionaux (PNR) des Préalpes, des territoires de moyenne montagne. Il s'agissait également de proposer une méthodologie d'approche intégrée de l'adaptation au changement climatique à cette échelle, dans une démarche participative et

pluridisciplinaire. Les massifs choisis sont déjà très sensibles et impactés par le réchauffement climatique, mais ils sont aussi des territoires privilégiés d'observation et de recherche en lien avec les PNR et les autres acteurs de ces territoires. L'analyse menée dans le cadre du projet portait tout aussi bien sur les ressources en eau et sur les risques naturels que sur les secteurs agricoles, forestiers et touristiques. IRSTEA, le Centre national de recherches météorologiques et les Parcs naturels régionaux du Vercors et des Préalpes ont contribué à mener à bien ce projet. Plus de 150 entrepreneurs et gestionnaires, experts et chercheurs, chargés de mission et responsables territoriaux ont également été mobilisés autour d'ateliers participatifs pour recueillir et capitaliser les connaissances de tous. Un cadre d'analyse systémique mis en place sur la base d'un travail pluridisciplinaire structurait l'ensemble de la démarche méthodologique qui était au cœur du projet. Au regard de l'ampleur de la problématique à aborder, l'approche se base pour l'essentiel sur des « focus » permettant de tester la faisabilité et la pertinence de différentes méthodes et outils pour cette approche systémique. En mobilisant ensuite des travaux sur les systèmes de management de l'adaptation et sur la modélisation intégrée de l'adaptation, le projet a débouché sur la définition d'un concept et objet pivot appelé « cas d'adaptation ». Cet ensemble méthodologique mis en place dans le Vercors devrait pouvoir être applicable à d'autres territoires de montagnes.

Objectifs et contexte

Afin de contribuer à la mise en œuvre du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), le projet AdaMont a été élaboré dans l'optique de répondre à trois objectifs principaux. Le premier d'entre eux était de réussir à qualifier le changement climatique attendu et les incertitudes associées pour les territoires de moyenne montagne. Le deuxième objectif concernait la caractérisation des impacts sur les principales activités socio-économiques et les stratégies d'adaptation à mettre en place. Le troisième et dernier objectif était de parvenir à proposer des méthodes et des outils utiles aux territoires dans le cadre de leur adaptation au changement climatique.

Toute la méthodologie et le déroulement du projet furent construits autour des éléments de posture définis à l'origine du projet et de l'idée d'approche intégrée. Le territoire est envisagé comme un système et l'analyse se porte surtout sur son évolution face au changement climatique. Cela devait aboutir à une modélisation intégrée de ce système et de son évolution. Cette modélisation permettait par la suite de créer des livrables de méthodologie, transférables, pour pousser au dialogue entre recherche et action.

Cette prise en compte du territoire comme un système demande de co-construire le projet avec les acteurs socio-économiques, de mobiliser des approches de sciences humaines et sociales et de confronter le savoir scientifique aux pratiques de gestion et connaissances des acteurs locaux afin d'obtenir un état de l'art le plus exhaustif possible, pour valoriser l'existant. Cela mène aussi

à mailler ce projet avec d'autres sur des thématiques proches, qui peuvent lui apporter des savoirs complémentaires, méthodologiquement par exemple.

Pour ce projet AdaMont, afin de combler tous les éléments de posture évoqués précédemment, il a aussi été décidé de travailler sur une échelle spatiale et temporelle fine pour gagner en opérationnalité et de s'appuyer sur un territoire bien renseigné. AdaMont s'est focalisé sur les territoires de moyenne montagne des Préalpes délimités du nord au sud par les Parcs naturels régionaux des Bauges, de Chartreuse, du Vercors et des Baronnies Provençales. Le travail privilégié avec le Vercors a contribué à valoriser les nombreux travaux préexistants sur le changement climatique, fruits d'une collaboration de longue date entre les équipes d'IRSTEA (entre autres) et les acteurs institutionnels et socio-économiques du parc. Les quatre PNR étudiés ont été sélectionnés pour leur répartition latitudinale étendue, leurs conditions naturelles diverses, leurs conditions climatiques contrastées et leur très forte sensibilité au changement climatique. Ils sont aussi péri-urbains et portent des enjeux de fréquentation (loisirs, tourisme, *etc*.) devant être conciliés avec leur grand intérêt faunistique et floristique pour préserver ces réservoirs de biodiversité. Ce sont donc des territoires aux caractéristiques et enjeux multiples.

AdaMont a donc développé une action de recherche partenariale et pluridisciplinaire, en associant au projet différents secteurs, acteurs et niveaux concernés par la maîtrise des impacts et par l'adaptation au changement climatique à l'échelle d'un territoire de taille intermédiaire.

Déroulement du projet et méthodes

Suivant les objectifs définis en amont, le projet a été articulé en trois phases principales entre 2015 et 2017.

La première phase en 2015 correspond essentiellement au lancement, à la structuration, à la mise en place d'une méthodologie nécessaire pour l'approche intégrée et à la mise à plat des connaissances pour le projet. Ces premiers mois de réflexion collective sont tournés vers l'intégration du triptyque « impacts / sensibilités-vulnérabilités / adaptations » grâce à une démarche participative aidée d'une plateforme d'outils supports.

En 2016, le projet est passé à l'organisation d'ateliers d'échanges entre acteurs locaux, experts et chercheurs, à la construction de la modélisation et des outils, ainsi qu'au montage des projets élargis. Un cycle de cinq ateliers participatifs thématiques sur l'agriculture, la forêt, le tourisme, l'eau et les risques naturels a eu lieu en partenariat avec le PNR du Vercors. D'autres ateliers ont également été organisés, autour de la question de la planification de l'adaptation au changement climatique, par exemple. AdaMont a aussi pu, en 2016, nourrir la réflexion d'autres projets de

recherche sur ces sujets, du niveau local au niveau européen. Tous ces ateliers ont contribué à enrichir la vision du système territorial et à estimer les impacts du changement climatique, tout en identifiant les interactions entre les secteurs d'activités, les pratiques et les points de vigilance pour l'adaptation. Ces informations partagées lors de ces ateliers ont permis de clarifier des pistes pour des recommandations à mettre en œuvre à plus long terme. Outre ces points essentiels pour le projet AdaMont lui-même, ces ateliers ont suscité le dialogue sur ces sujets, facilité les échanges, développé l'intelligence collective et surtout un réseau d'interlocuteurs à l'échelle du territoire.

Enfin, la troisième et dernière phase en 2017 a abouti à la finalisation des outils, des efforts de valorisation, de communication et de transfert des résultats dans des recueils, des colloques et de nombreuses contributions écrites. Une plateforme a été structurée autour du socle central de la modélisation formelle intégrée du système territorial et des pratiques d'adaptation, pour permettre de capitaliser et de mettre en lien les différents éléments de connaissance afin de les mettre à disposition dans différentes applications. La plateforme est aussi une source d'informations et de services à destination des acteurs territoriaux, comme un prototype de webservices climatiques.

Si le projet s'est déroulé en trois phases, on peut aussi l'expliquer par le biais des quatre démarches qui ont accompagné la méthodologie de l'ensemble du projet afin de répondre aux objectifs prévus : la démarche pluridisciplinaire et participative ; la démarche de synthèse, de valorisation et de production des connaissances ; la démarche de modélisation intégrée et d'adoption d'une approche globale ; et enfin la démarche de sensibilisation, de communication et de diffusion.

La démarche pluridisciplinaire et participative du projet AdaMont incluait plusieurs missions. Tout d'abord la sélection et le recrutement de personnel (ingénieurs, stagiaires et un post-doctorant) ont permis de mettre en œuvre les différentes actions du projet. Par la suite, des séminaires de travail réguliers, comprenant le collectif de vingt à trente personnes impliquées à IRSTEA et au CNRM et l'établissement d'un glossaire, pour aider la compréhension mutuelle dans le projet, ont été organisés. La mobilisation des quatre parcs naturels régionaux et les cycles d'ateliers participatifs, thématiques et transversaux, s'inscrivaient eux aussi dans cette démarche.

La démarche de synthèse, de valorisation et de production de connaissances passait par plusieurs missions. Outre la mise en place d'un état de l'art des connaissances et la création d'une base de données, le projet avait pour mission de produire une méthode de régionalisation des projections climatiques et des données climatiques territorialisées pour les massifs alpins. Cette méthode et ces données climatiques ont été mises en ligne à travers le portail DRIAS. Tout comme la démarche participative, cette démarche œuvre à la co-construction des arbres d'enjeux et des objectifs d'adaptation au changement climatique et à la cartographie du territoire du PNR du Vercors comportant des données socio-écologiques, une évaluation des services écosystémiques

et des estimations des vulnérabilités du territoire.

La démarche de modélisation intégrée et d'adoption d'une approche globale a permis la stabilisation du cadre méthodologique global évoqué plus haut, avec l'articulation en trois blocs « impacts / vulnérabilités / adaptations ». Cette démarche a abouti à la conception d'un modèle des données, MAIA (Modélisation améliorative et intégrée de l'adaptation), créé de telle façon à ce que les informations utiles à l'adaptation puissent être plus structurées, mieux connectées et donc rendre l'adaptation réellement systémique et intégrée à l'échelle d'un territoire donné. Une démarche globale de management de l'adaptation aux changements (surtout climatiques) a aussi été stabilisée et nommée SMA pour Système de management de l'adaptation (fondée sur les cadres normatifs internationaux de l'ISO 9001 et 37101).

Enfin, la démarche de sensibilisation, de communication et de diffusion des connaissances et résultats, a principalement pris place pendant la troisième phase du projet ; en témoigne la participation d'AdaMont à divers événements, scientifiques et grands publics, de 2015 (présentation au Parc naturel régional du Vercors) jusqu'à 2018 (Festival international du film de montagne d'Autrans), à des actions de sensibilisation avec des jeux et un parcours de géocaching et la production de très nombreux supports et documents destinés à tous types de publics (professionnels de la montagne, scolaires, scientifiques, *etc*.).

Résultats et perspectives

Pour parvenir à une première analyse globale du système, AdaMont s'est focalisé sur trois axes. Tout d'abord, il a fallu fixer le cadre d'analyse systémique et produire un modèle utilisant l'ensemble des données recueillies. Puis, une réflexion a permis l'établissement d'une approche processus pour décrire de la façon la plus fine possible le système et les interactions entre les différentes parties constituant le territoire. Cette approche offre une vision en niveaux emboîtés, essentielle pour la bonne appréciation des enjeux. Enfin, l'analyse a également intégré le rôle de l'environnement politique vis-à-vis des principes et objectifs de développement durable, aussi bien à l'échelle du territoire qu'internationale.

Ce travail d'analyse a permis d'établir un modèle croisant les données scientifiques du territoire avec le reste des informations obtenues et d'offrir un aperçu des relations entre tous les partenaires. Cela donne un outil puissant pour faciliter la transmission des résultats et la prise de décisions tout en donnant une vision très précise du système et de ses imbrications, l'objectif étant d'adapter les conclusions issues du modèle à la gestion des territoires concernés.

Le modèle a été affiné tout au long de l'étude, à l'aide des ateliers participatifs et

réciproquement. Les ateliers ont apporté la matière pour définir le modèle et le corriger au fur et à mesure, tandis que le modèle a servi de cadre aux ateliers. Il ne faut pas manquer de rappeler que les approches participatives comme celle développée dans AdaMont comportent plusieurs désavantages. La représentativité des acteurs impliqués, la logistique impliquée, la communication et le traitement de la grande diversité de données obtenues reste des problèmes communs à ce genre d'études. Néanmoins, ce projet a su s'entourer de scientifiques et d'experts au moment des ateliers et lors de la validation des connaissances récoltées. Des projections climatiques et quelques modèles ont également été utilisés pour soutenir la réflexion des ateliers. Au final, la démarche participative fut une nécessité pour aborder des sujets où la science peine à apporter des réponses. Les fondements d'une certaine capitalisation et d'un partage de l'expertise ont été posés, pour travailler à l'avenir plus vite et avec moins de moyens. Les effets leviers du projet ont bien été constatés et ont participé à des initiatives et opportunités de recherche et d'appui à l'action publique variées.

Le projet AdaMont a créé de solides bases pour l'étude de l'adaptation au changement climatique des territoires et le modèle créé est voué à être enrichi par davantage d'approches. Si la méthode doit encore être renforcée, elle est également destinée à être testée et appliquée à d'autres territoires, même très différents comme les littoraux. Le travail effectué ici a permis d'établir les prérequis à l'étude de l'adaptation des territoires, mais il s'appuie beaucoup sur les agents intermédiaires. En plus des actions de formation, de sensibilisation et d'animation scientifique dispensées au cours d'AdaMont, des formations sur la méthodologie globale d'AdaMont et sur les démarches de management de l'adaptation au changement climatique seront nécessaires, entre autres à destinations des équipes des PNR. Un besoin de consolidation et de formation au cadre méthodologique, très complexe pour une application sur le terrain, se fait ressentir pour améliorer la transférabilité des approches d'AdaMont.

Principales valorisations des recherches

Par la multitude de sujets abordés et d'acteurs rencontrés et la variété des échanges et des formes de réflexion collective engagées pendant le projet, AdaMont a produit un grand nombre d'ouvrages et de réalisations. Au premier rang d'entre eux, on compte une valorisation scientifique concrète. Celle-ci se matérialise par plusieurs articles scientifiques et techniques, mais aussi par certains portés sur la vulgarisation. Un numéro spécial de la revue *Sciences, Eaux et Territoires*, éditée par IRSTEA, a également été dédié au projet et fut l'occasion de nombreuses publications. Au-delà de ces publications, le projet AdaMont a mené à pas moins de treize synthèses thématiques, huit rapports de stages et de projets tuteurés, quinze documents pédagogiques tous publics ou encore trois notes de travail.

À côté de ces productions, plusieurs événements ont permis de valoriser autrement ce projet, notamment par le biais de trois ateliers participatifs sur les forêts, trois autres sur l'agriculture,

deux sur la thématique du tourisme et enfin une dizaine d'ateliers transversaux. Des événements concrets comme la journée de lancement à Lans-en-Vercors le 22 juin 2015 ou bien la participation d'AdaMont à la clôture du Festival international du film de montagne d'Autrans en décembre 2017 ont permis de valoriser ce projet auprès d'un public varié. Si l'on prend ce dernier exemple, il a notamment permis de réaliser de multiples animations auprès du public scolaire avec des restitutions techniques, des présentations ou des supports ludiques (« Questions pour un Champion » spécial climat) qui permettent une véritable plus-value du projet sur les questions de sensibilisation et de pédagogie. Enfin, il faudrait encore ajouter à cette riche liste plusieurs séminaires organisés, quelques journées de formation et de nombreuses communications à travers les médias.

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page internet d'AdaMont et y télécharger le rapport final du projet.

OMERAD

« L'adaptation aux changements climatiques Outre-mer : approche intégrée du territoire de la Réunion »

Responsables, partenariats

- Responsable : Anne-Sophie Tabau, professeure de droit public, université de la Réunion, faculté de droit et d'économie, Centre de recherche juridique (EA 16).
- Organismes et laboratoires impliqués dans le projet : Centre de recherche juridique (CRJ) — université de la Réunion ; *Centre for environmental law and governance* — université de Strathclyde (Écosse) ; Centre d'études et de recherches internationales et communautaires — Aix-Marseille université ; UMR Institut de l'Ouest : droit et Europe — université de Rennes 1, CNRS.

Financements

Budget total : 30 000 €.

Subvention allouée par le MEDDE : 30 000 €.

Mots-Clés

Adaptation, droit international, droit national, droit local, Accord de Paris, la Réunion, système juridique.

Introduction

Comme le projet AdaMont, OMERAD était un projet coopératif soutenu par le programme GICC en dehors des appels à projets de recherche. OMERAD avait pour premier objectif d'initier une réflexion juridique au sein du Centre de recherche juridique (CRJ) de l'université de la Réunion sur l'adaptation aux changements climatiques à la Réunion, selon une approche intégrée et dans une perspective d'aide à la décision.

L'importance de l'adaptation est soulignée comme égale à celle de l'atténuation dans le Préambule de l'Accord de Paris et son article 7. L'adaptation est essentielle à mettre en place à

toutes les échelles : internationale, régionale, européenne, nationale et locale. Mais la notion d'adaptation n'est pas clairement définie, elle est surtout abordée à travers les objectifs qu'elle représente : renforcement des capacités d'adaptation, accroissement de la résilience, réduction des vulnérabilités, etc., toujours dans un contexte où il faut maintenir une élévation des températures en dessous de 2°C. À cause de cette absence de définition claire, les Parties à l'Accord ont une marge d'interprétation de facto. Cette indétermination devrait cependant être réduite au fur et à mesure que les négociations prennent place et que les Parties précisent leur compréhension du terme dans leurs engagements par exemple. La traduction de ces engagements des Parties auprès de l'Accord de Paris et de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) dans le droit est un processus en cours d'élaboration. Le caractère relativement récent de ces thèmes, particulièrement l'adaptation aux impacts des changements climatiques, n'est pas le seul obstacle à leur inclusion dans le domaine juridique. Le droit relatif à l'adaptation mêle tout d'abord différentes échelles et de très nombreux types d'acteurs. Dans un tel contexte, le système juridique à mettre en place devra donc tenir compte de points de vues potentiellement contradictoires des acteurs et échelles impliqués. Mais se mêlent ici aussi différents domaines du droit, entre droit national et international, droit privé et droit public, etc. Et tandis que le droit international public constitue bien souvent le plus petit dénominateur commun entre les États, il est incapable d'enrayer la concurrence entre droits nationaux pour régir le comportement des personnes privées et la possible « course vers le bas » qui en résulte.

Les questions de recherche devaient donc révéler et évaluer les mécanismes juridiques permettant de faire naître et de stabiliser les attentes normatives des parties prenantes de l'adaptation aux changements climatiques à la Réunion. Le projet OMERAD a donc permis de s'appuyer sur l'exemple de la Réunion pour s'interroger sur les traductions juridiques du discours politique résultant de la COP21 de la CCNUCC.

Objectifs et contexte

Dès le début du projet OMERAD, la lecture juridique faite de l'approche intégrée du territoire de la Réunion en matière d'adaptation aux changements climatiques a permis d'identifier trois séries d'interrogations d'ordres matériel, spatial et temporel.

Sur le plan matériel, une des raisons qui expliquent la moindre importance accordée jusqu'à présent à l'adaptation par rapport à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre tient à la complexité du tissu d'acteurs et d'échelles concernés par l'adaptation, plus grande encore que pour l'atténuation. En effet, si l'atténuation peut faire l'objet de mesures dans les domaines de l'énergie, des transports ou de l'habitat par exemple, les mesures d'adaptation touchent aussi aux politiques relatives à l'eau, à la mer, au littoral, à la pêche, à la biodiversité, à l'urbanisme ou encore à l'agriculture. Une politique d'adaptation aux changements climatiques demande donc

un important effort d'ordonnancement et les règlementations dans ces différents domaines se doivent d'être cohérentes. D'autant plus que les changements climatiques impactent également directement le secteur privé et donc le droit privé, comme en témoigne, par exemple, le secteur des assurances ou, plus largement, le droit de l'entreprise. L'un des objets de cette recherche a donc été de s'interroger sur les moyens juridiques permettant une telle mise en cohérence.

À cette nécessaire mise en cohérence matérielle « horizontale » des normes s'ajoute un besoin d'organisation « verticale » dans l'espace. Les impacts des changements climatiques ne sont et ne seront pas identiques partout sur la planète, ni sur le territoire d'un même État, ni même à l'échelle d'une région. L'approche locale semble ainsi tout à fait cruciale, mais elle ne peut pas être considérée sans prendre en compte l'action nationale, globale ou même transnationale. Pour cela, la Réunion présente des spécificités intéressantes qui ont été, en particulier, étudiées du point de vue de la coordination des compétences mobilisées et du pouvoir décisionnel à différentes échelles.

Enfin, une troisième dimension s'ajoute à l'équation, celle du temps. Les impacts des changements climatiques varieront également très probablement dans le temps. L'adaptation suppose de faire face aux perturbations actuelles du climat, mais aussi d'être capable de se projeter sur le long terme dans un contexte de double incertitude : incertitude sur les effets locaux des changements climatiques et incertitude sur la capacité des mesures adoptées dès à présent à répondre aux enjeux futurs. Or, la position attentiste consistant à surseoir à l'action pour réduire ces incertitudes ne suffit pas, en raison de l'ampleur de la transition à entreprendre, mais aussi parce que les avancées de la science peuvent générer de nouvelles incertitudes. Dans ce contexte, comment le droit peut-il se positionner ? En particulier, quels sont les apports des principes de prévention et de précaution ? Peuvent-ils fonder une répartition adéquate des responsabilités ?

OMERAD a volontairement retenu une conception large de l'adaptation aux changements climatiques. L'équipe a cherché à déterminer dans quelle mesure le droit applicable à la Réunion témoigne d'une régulation juridique du territoire, de la population et des acteurs économiques qui est adaptée aux impacts des changements climatiques comme aux défis de la riposte aux changements climatiques.

Le projet OMERAD a été conçu comme un projet préparatoire susceptible de fédérer les travaux conduits au sein du Centre de recherche juridique de l'université de la Réunion autour des enjeux climatiques. Il avait également vocation à pérenniser l'équipe constituée et à déboucher sur de futures collaborations interdisciplinaires, en concertation avec les différents acteurs concernés.

Déroulement du projet et méthodes

Le projet OMERAD a duré 24 mois. La durée opérationnelle prévue du projet était de décembre 2015 à décembre 2017, avec des actions de valorisation allant au-delà de la date finale.

Afin de répondre aux questionnements retenus lors de la préparation du projet, plusieurs tâches se sont succédées pour répondre aux livrables décidés à l'avance.

En tant que projet préparatoire destiné à poser les fondements d'un projet plus conséquent, la première étape a été de constituer un fond bibliographique juridique important. Les différents ouvrages et périodiques acquis par le Centre de recherche juridique ont permis de commencer les recherches bibliographiques nécessaires pour prendre en compte l'état de l'art en droit sur l'adaptation aux impacts des changements climatiques. L'équipe a pu identifier et collecter des textes et articles de droit de l'environnement et surtout de droit du climat, des documents stratégiques officiels locaux et nationaux, des stratégies, plans et programmes de l'Union européenne, de la Commission de l'Océan Indien et des négociations internationales. Les travaux d'OMERAD ont également pris appui sur des recherches déjà effectuées ou en cours dans d'autres disciplines ou autres territoires. Ainsi, des travaux de Météo-France, de la Société réunionnaise pour l'étude et la protection de l'environnement (SREPEN), de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et de l'Union européenne ont servi de bases de données à la réflexion juridique.

Anne-Sophie Tabau et Audrey Dameron, ont aussi assisté en 2016 au séminaire de restitution de l'appel à projet de recherche 2012 de GICC sur le thème de « Construire l'adaptation : s'adapter au changement climatique avéré et à venir est devenu crucial ».

L'affirmation du positionnement du CRJ sur ce projet en matière environnementale et surtout climatique a permis d'identifier les juristes impliqués et a amené à des collaborations riches en échanges pour compléter cette recherche préliminaire de l'état de l'art. Les chercheurs ont été invités à des séminaires de restitution de projets par exemple, ce qui aide à fédérer des initiatives et résultats souvent trop dispersés. Les réflexions interdisciplinaires initiées à ces occasions se sont ensuite étendues aux travaux de sciences économiques du laboratoire CEMOI (Centre d'économie et de management de l'océan Indien), entre autres, dans le cadre d'un colloque sur la transition écologique à l'épreuve des territoires (2017).

L'approche intégrée et territoriale qui définit le projet impliquait aussi de faire un point sur les connaissances des impacts potentiels des changements climatiques à l'île de la Réunion, sur ses vulnérabilités et sur ses capacités de résilience. Ces trois points ne dépendent pas du domaine du droit mais étaient cruciaux pour prendre en compte les enjeux locaux. Les impacts potentiels des

changements climatiques à l'île de la Réunion sont nombreux et consistent principalement en une accentuation des risques naturels déjà présents (inondations de zones littorales habitées plus fréquentes, accroissement de l'érosion des plages, dégradations du récif corallien avec des conséquences certaines sur la faune associée et sur la protection des côtes). La liste de ces impacts n'est toutefois pas encore complète et les recherches sont encore en cours pour les déterminer. Les vulnérabilités tiennent surtout à la résistance des infrastructures, à la santé publique et aux maladies potentiellement développées dans le futur (comme par le biais des microalgues nuisibles proliférant) et au tourisme à cause de la dégradation des plages et des parcs naturels. Les vulnérabilités restent elles aussi à compléter par des recherches complémentaires. Enfin, les capacités de résilience de l'île de la Réunion dépendront en premier lieu de l'implication du secteur économique, de la population et de la mise en œuvre par les pouvoirs publics des mesures d'adaptation à différents niveaux et ce de manière coordonnée.

La constitution de l'équipe de recherche juridique s'est faite à travers un appel à propositions de contributions auprès des membres du CRJ, auquel une dizaine de chercheurs ont répondu. Une post-doctorante, Audrey Dameron, a aussi été recrutée pour le projet de septembre 2016 à décembre 2017. La variété des spécialités juridiques représentées dans cette équipe a permis d'investiguer de nombreuses branches du droit, ce qui était important pour l'approche intégrée voulue. Cela apportait une vision transversale transcendant les divisions traditionnelles entre droits privé et public et droits interne, européen et international. Ainsi, des spécialistes se sont retrouvés pour étudier le droit des collectivités territoriales d'Outre-mer, le droit administratif, le droit pénal, le droit des assurances, le droit des affaires, le droit de l'Union européenne, le droit international du climat, le droit de l'environnement et le droit de l'urbanisme. Malgré toutes ces disciplines juridiques représentées, l'étude n'a pas eu de prétention exhaustive, les pistes étant trop vastes et variées pour être complétées dans un projet voulu « préliminaire ».

Afin de concilier au mieux ces disciplines et profiter pleinement des complémentarités des questions traitées par chacun, un séminaire a été organisé en septembre 2016. Il est apparu que les contributions individuelles des membres de l'équipe permettaient d'atteindre une réflexion d'ensemble intéressante et inédite, surtout en langue française, structurée autour de questions juridiques fondamentales relatives aux rapports entre systèmes juridiques et à la circulation normative. Les quelques difficultés rencontrées par l'étude ont été évoquées, comme le vocabulaire changeant entre les domaines du droit (entre négociations internationales et droit interne par exemple) qui a amené à la création d'un glossaire, ou encore l'incertitude des impacts des changements climatiques à l'échelle locale et la difficulté occasionnée pour le droit de s'en saisir. Les partenariats établis ou envisagés avec des acteurs réunionnais concernés par l'adaptation aux changements climatiques ou avec des chercheurs d'autres disciplines ont également pu être recensés à cette occasion.

L'équipe a aussi été ponctuellement complétée par des experts extérieurs au CRJ, qui ont été

invités à participer aux recherches. Ainsi, le *Centre for environmental law and governance* de l'université de Strathclyde en Écosse, le Centre d'études et de recherches internationales et communautaires d'Aix-Marseille université et l'Institut de l'Ouest : droit et Europe de l'Université de Rennes 1 et du CNRS ont répondu positivement à l'appel et ont participé au projet.

Pour se rapprocher encore d'une approche intégrée, l'équipe a organisé une consultation des parties prenantes non académiques de l'adaptation aux changements climatiques à la Réunion. Diverses parties prenantes ont répondu présent : un service de l'État (la Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) de la Réunion) ; des collectivités territoriales (région Réunion, Communauté d'agglomération du territoire de la côte Ouest, commune de la Possession) ; des organes consultatifs (Conseil de la culture, de l'éducation et de l'environnement (CCEE) de la Réunion, Conseil économique, social et environnemental régional (CESER) de la Réunion) ; des observatoires (société publique locale Énergies Réunion, Agence pour l'observation de la Réunion, l'aménagement et l'habitat (AGORAH)) ; des associations à but non lucratif (SREPEN, Plateforme d'intervention régionale de l'océan Indien (PIROI) de la Croix-Rouge française) ; des acteurs économiques (Société immobilière du département de la Réunion, Réseau Habitat et Francophonie, Bourbon Plastiques Bâtiment, Cobaty Bourbon, Akuo Energy) ; des réseaux transnationaux (R20 *Regions of climate action*, *Network of regional governments for sustainable* development (NRG4SD)), une organisation internationale régionale (Commission de l'océan Indien) et des ambassades françaises (Mozambique, Tanzanie).

OMERAD a organisé par la suite un séminaire axé sur l'adaptation interne à la Réunion, qui constituait le principal livrable du projet. Le colloque « L'adaptation au changement climatique de haut en bas : quelles traductions juridiques à la Réunion ? » a pris la forme d'un séminaire de recherche à dominante juridique ouvert aux échanges interdisciplinaires et en lien avec les acteurs concernés. Le colloque entendait donc s'appuyer sur l'exemple de la Réunion pour s'interroger sur les traductions juridiques du discours politique émanant de la COP21 de la CCNUCC. Les 14 et 15 novembre 2016, trois sessions d'une demi-journée chacune ont comporté des discussions et débats sur trois sujets principaux : « Comment coordonner le pouvoir décisionnel ? » ; « Comment s'articulent les responsabilités ? » ; « Dans quelle mesure le droit est-il cohérent sur le plan matériel ? ». Cela a donc également permis d'avancer sur ces sujets, qui ont plus tard fait l'objet d'articles.

Un partenariat entre la région Réunion et NRG4SD sur le thème « Les îles, terres de solutions innovantes pour tous les territoires » a par ailleurs été établi. Les propositions d'OMERAD issues de cet événement ont pu être relayées par la délégation de la Réunion lors d'un side event de la COP23 de la CCNUCC à Bonn en novembre 2017.

OMERAD avait vocation à déboucher sur l'élaboration d'un projet associant les juristes à des chercheurs d'autres disciplines. Les sciences humaines et sociales étant encore peu représentées s'agissant de la recherche sur les impacts des changements climatiques à la Réunion, c'est avant tout cette piste qui a été privilégiée. Des contacts ont été pris en ce sens avec des économistes,

sociologues, politistes et géographes de l'université de la Réunion. Si tous n'ont pas pu répondre présents, un travail plus approfondi s'est engagé entre Marie Thiann-Bo-Morel (sociologue) et Anne-Sophie Tabau (juriste).

Résultats et perspectives

OMERAD ne prétend pas avoir définitivement tranché les questions posées en début de projet, mais les recherches effectuées tout au long de ces 24 mois ont permis de poser les premiers jalons vers les réponses. À l'issue du projet, des suggestions pour de futures recherches ont été formulées. L'ensemble des contributions à OMERAD ont pris le point de vue d'un acteur ou d'un enjeu local, ce qui a permis de mettre en évidence des phénomènes de « concurrence normative » et « d'apparition d'instruments normatifs » originaux. Des lacunes et des solutions possibles ont été identifiées par cet établissement d'un premier diagnostic sur l'état du droit relatif à l'adaptation aux changements climatiques à l'île de la Réunion.

Dans sa démarche, OMERAD a réussi à s'inscrire dans une logique participative et évolutive telle que promue par l'Accord de Paris de la COP21 de la CCNUCC, supposant de concevoir le système juridique de l'adaptation à partir du droit interne, tout en envisageant ses potentielles rétroactions sur le régime international. OMERAD a aussi pu permettre d'apprécier la dynamique semblable qui se dessine à l'échelle nationale et les interactions entre échelles locale et globale.

Avancées et apports de l'étude

L'approche intégrée, prise d'un point de vue juridique, suppose de comprendre dans quelle mesure et comment les différentes normes et institutions concernées par le sujet de l'adaptation aux changements climatiques forment une certaine unité dans leur ensemble. À défaut de rechercher une exhaustivité impossible dans un tel projet, les recherches ont mis l'accent sur le processus de mise en relation ou d'agencement des éléments hétérogènes identifiés comme autant de composantes de l'adaptation aux changements climatiques à l'île de la Réunion.

Cela a permis de mettre en évidence la proximité des logiques normatives à l'œuvre dans les différentes échelles et a souligné la pertinence de penser le droit en mouvement, comme une dynamique, chaque type de droit et chaque échelle influençant les autres dans un mouvement cycloïdal qui doit perdurer, pour les chercheurs d'OMERAD. Ceux-ci vont jusqu'à déceler des bribes de droit post-moderne, qui s'émanciperait de l'État et de la notion d'ordre juridique, dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques. Pour eux, le droit international public voit son rôle renouvelé dans cette thématique, alors que le régime climat apparaît comme

l'orchestrateur d'une gouvernance en réseau et non comme une autorité supérieure d'une gouvernance hiérarchique.

Dans l'ouvrage qui est sorti du projet OMERAD, les auteurs montrent aussi les processus d'interaction à l'œuvre menant à une trajectoire d'acclimatation progressive des différents ensembles juridiques à « l'internormativité », acclimatation qui demeure cependant fragile et possède des risques. Les recherches retenues pour la troisième partie de l'ouvrage révèlent le potentiel de l'adaptation aux changements climatiques comme une « métanorme ». Cette métanorme serait susceptible de favoriser l'acclimatation des ensembles juridiques à l'internormativité et, par conséquent, susceptible de faire émerger une nouvelle forme d'ordonnancement juridique conciliant les impératifs juridiques de sécurisation des attentes normatives et l'impératif écologique.

Des contributions à OMERAD ont étudié les vecteurs d'intégration en droit de l'objectif d'adaptation aux changements climatiques, ainsi que les secteurs d'intégration de cet objectif. Par exemple, les chercheurs se sont penchés sur le soutien de l'Union européenne à l'adaptation dans les régions ultrapériphériques comme la Réunion. Le sujet est bien présent dans les stratégies européennes, mais pourrait être renforcé juridiquement et les processus d'accès aux programmes européens pourraient être facilités. Sur un autre sujet, l'implication des citoyens et le besoin de démocratie locale paraissent aussi essentiel pour faciliter l'acceptation de ces décisions et leur mise en œuvre par les acteurs locaux eux-mêmes. Enfin, l'inclusion de l'adaptation dans les documents d'urbanisme ou dans le droit de l'entreprise permettrait aussi d'accroître les outils à disposition des citoyens et des entrepreneurs pour agir en faveur de la résilience.

La question des mécanismes de responsabilité aux enjeux climatiques se pose également. Ce sujet, pourtant sensible, est traité dans l'agenda des COP de la CCNUCC, comme avec le mécanisme de Varsovie relatif aux pertes et préjudices liés aux changements climatiques. Le cadre juridique et le fonctionnement du mécanisme actuel est à étudier pour évaluer son possible apport aux Outre-mer français. L'inclusion de cette responsabilité dans le droit pénal est aussi étudiée par les contributions au projet OMERAD, qui concluent que si la réponse pénale à des dommages consécutifs aux changements climatiques est techniquement envisageable, elle doit être parée de garde-fous pour éviter un engagement systématique de la responsabilité des décideurs, ce qui pourrait se révéler contre-productif socialement et économiquement.

En droit administratif français, des recours sont toutefois possibles pour faire reconnaître la carence des pouvoirs publics dans l'adaptation aux changements climatiques. Un recours en excès de pouvoir, par exemple, peut offrir de réelles possibilités de réussite puisque le juge administratif interprète souplement ses conditions de recevabilité et les obligations d'agir peuvent être trouvées dans les droits humains, dans la loi et dans la notion d'ordre public. Une action en responsabilité a moins de chances de succès en raison de la difficulté à établir le lien de

causalité due à la nature du préjudice.

Les compagnies d'assurances participent de plus en plus aux conférences internationales pour élaborer des stratégies d'adaptation aux changements climatiques, avec une attitude ambivalente, entre réelle inquiétude sur le péril qui plane sur l'équilibre économique du modèle d'assurance et promotion de nouveaux produits pour le marché assurantiel des risques climatiques.

Le régime juridique des plans de prévention des risques naturels prévisibles implique de tirer les conséquences de l'évolution des divers aléas et les changements climatiques ont des incidences actuelles et futures sur les aléas littoraux. Cela a donc récemment entraîné l'apparition de l'objectif d'adaptation sous forme de recommandations techniques relatives au processus de l'élaboration des plans de prévention des risques naturels prévisibles. Ces recommandations se sont vues reconnaître la qualité de droit souple par les juridictions administratives françaises par la suite et leur portée juridique devrait encore se renforcer dans le futur.

Sur un autre point de l'ordonnancement juridique découlant de la notion d'adaptation aux changements climatiques, les îles et régions ultrapériphériques de l'Union européenne sont aussi concernées par la différenciation des territoires dans l'application du marché carbone du secteur de l'aviation (CORSIA). Une contribution du projet OMERAD s'est chargée d'analyser les conséquences et opportunités de la mise en place de ces outils de différenciation entre territoires sur les îles, qui permettraient d'enrayer le freinage de la demande mondiale de produits et services touristiques et commerciaux insulaires.

Enfin, à travers la « crise requin » de l'île de la Réunion, un parallèle a été établi avec les enjeux de l'adaptation aux changements climatiques. Lorsque les risques naturels sont imprévus, il est difficile d'opérer une adaptation réussie. Alors que l'approche actuelle de l'adaptation repose sur une logique anticipatrice, les autorités locales ont tendance à réagir dans l'urgence. Considérer la « crise requin » comme un enjeu d'adaptation et tirer des conclusions de sa gestion pourrait permettre de déterminer les meilleures pratiques face à des risques naturels nouveaux, cette fois liés aux changements climatiques.

Recommandations

De toutes les contributions à OMERAD sont ressorties des recommandations des chercheurs aux gestionnaires, décideurs et autres acteurs concernés, de la Réunion ou à d'autres échelles. Ainsi, le rapport final du projet OMERAD adresse des conseils, recommandations et pistes à étudier aux négociateurs français des COP, aux universités, aux acteurs politiques du Sud-Ouest de l'océan Indien, à la Commission européenne, à la région Réunion, aux experts locaux, aux législateurs, aux juges, aux autorités publiques, etc., à court, moyen et long termes. Ces recommandations visent toutes à parvenir, par l'étude ou par les décisions prises, à un droit

applicable à la Réunion qui régulerait juridiquement le territoire, sa population et ses acteurs économiques afin d'assurer l'inclusion de l'adaptation aux changements climatiques dans toutes les facettes de la société réunionnaise.

Principales valorisations des recherches

Afin de faire connaître les conclusions de cette étude, les différentes personnes impliquées dans le projet ont réussi à valoriser ces résultats à travers plusieurs occasions et sous différents formats.

La première occasion a pris la forme d'un colloque, organisé à la faculté de droit et d'économie de l'université de la Réunion les 14 et 15 novembre 2016, sur le sujet « L'adaptation au changement climatique de bas en haut : quelles traductions juridiques à la Réunion ? », permettant de recentrer le sujet de l'adaptation dans une perspective surtout interne au territoire étudié.

Le second format utilisé pour valoriser les conclusions d'OMERAD a été l'écriture de quatre *policy briefs* sur l'adaptation aux changements climatiques de l'île de la Réunion dans sa dimension externe. Ces *policy briefs* ont à leur tour pu être exposés à des occasions variées. Tout d'abord, ils ont été mis en avant lors d'une Conférence internationale organisée par la région Réunion et le réseau NRG4SD sur le thème « Les îles, terres de solutions innovantes pour les territoires » les 5 et 6 octobre 2017. Par la suite, un *side event* de la COP23 de la CCNUCC à Bonn (sous la présidence des îles Fidji) en novembre 2017 a permis à la délégation de la région Réunion de valoriser le projet.

Enfin, un ouvrage collectif dirigé par Anne-Sophie Tabau a été publié en 2018 en *open access*, sous le titre de « Quel droit pour l'adaptation des territoires aux changements climatiques ? L'expérience de l'île de la Réunion ».

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la page internet d'OMERAD et y télécharger le rapport final du projet.

Table des sigles et acronymes

AdaMont	Impacts du changement climatique et ADAptation en territoire de MONTagne
ADAPTATIO	Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la conception des projets d'aménagements urbains : nouveau(x) outil(s) et nouveau(x) métier(s)
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (avant 2020) / Agence de la transition écologique (depuis 2020)
AELB	Agence de l'Eau Loire-Bretagne
AERMC	Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
AESN	Agence de l'Eau Seine-Normandie
AFB	Agence Française pour la Biodiversité
AGORAH	Agence pour l'Observation de la Réunion, l'Aménagement et l'Habitat
AgroParisTech	Institut national des sciences et industries du vivant et de l'environnement
AMS	*American Meteorogical Society*
ANR	Agence Nationale de la Recherche
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
APR	Appel à Projets de Recherche
ARMINES	Association pour la recherche et le développement des méthodes et processus industriels
ARPE	Agence Régionale Pour l'Environnement
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CCEE	Conseil de la Culture, de l'Éducation et de l'Environnement
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CDC	Caisse des Dépôts et Consignations
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CEMOI	Centre d'Économie et de Management de l'Océan Indien
CEN	Centre d'Études de la Neige
CERCLE	Collectif d'Expertise Régionale pour le CLimat et son Évolution
CERFACS	Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique
CESAER	Centre d'Économie et de Sociologie appliquées à l'Agriculture et aux Espaces Ruraux
CESER	Conseil Économique, Social et Environnemental Régional
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CHE	*Confederación Hidrográfica del Ebro*

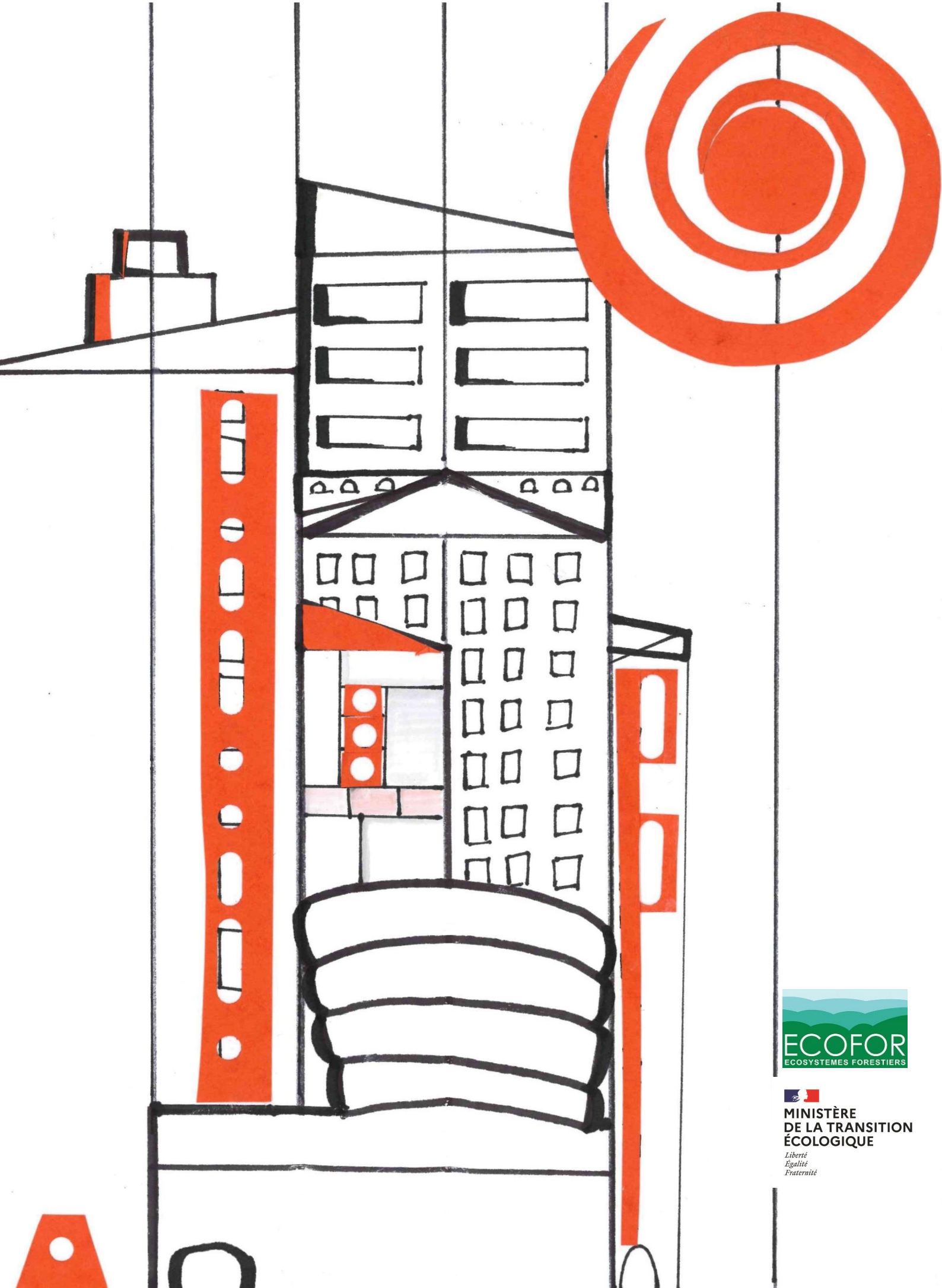
CITERES	CItés, TERritoires, Environnement et Sociétés
CNRM	Centre National de Recherches Météorologiques
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
COP	Conférence des Parties
CRJ	Centre de Recherche Juridique
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DEAL	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRI	Direction de la Recherche et de l'Innovation
DRIAS	Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement
EIT	*European Institute of Innovation and Technology*
EIVP	École des Ingénieurs de la Ville de Paris
ENGREF	École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
EpE	Entreprises pour l'Environnement
FRB	Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité
GEPET-Eau	Gestion Efficiente Prédictive ET adaptative de la ressource en Eau des voies navigables dans un contexte de changement climatique
GES	Gaz à Effet de Serre
GICC	Gestion et Impacts du Changement Climatique
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIP	Groupement d'Intérêt Public
GIS	Groupement d'Intérêt Scientifique
GMGEC	Groupe de Météorologie de Grande Échelle et Climat
GT	Groupe de Travail
HSM	HydroSciences Montpellier
HYCCARE	HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau
IAUC	*International Association for Urban Climate*
ICUC	*International Conference on Urban Climate*
ICUE	*Industrial and Commercial Use of Energy*
IDDRI	Institut du Développement Durable et des Relations Internationales
IGE	Institut des Géosciences de l'Environnement
IM2E	Institut Montpelliérain de l'Eau et de l'Environnement

IMT	Institut Mines-Télécom
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INRAE	Institut National de la Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
INvS	Institut de veille Sanitaire
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
KIC	*Knowledge and Innovation Community*
LGGE	Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement
LSCE	Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
MAIA	Modélisation Améliorative et Intégrée de l'Adaptation
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
MIES	Mission Interministérielle de l'Effet de Serre
NRG4SD	*Network of Regional Governments for Sustainable Development*
OFB	Office Français de la Biodiversité
OMERAD	L'adaptation aux changements climatiques Outre-mer : approche intégrée du territoire de la Réunion
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
ONERC	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
PADD	Plan d'Aménagement et de Développement Durable
PIROI	Plateforme d'Intervention Régionale de l'Océan Indien
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PNACC	Programme National d'Adaptation au Changement Climatique
PNF	Parcs Nationaux de France
PNR	Parc Naturel Régional
PPRI	Plan de Prévention du Risque d'Inondation
REMedHE	Impacts des changements climatiques et anthropiques sur la gestion quantitative des Ressources en Eau en Méditerranée : évaluation comparative Hérault-Ebre
SAC	*Sistemes Avançats de Control* (*Advanced control systems*)
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SEMAPA	Société d'étude, de maîtrise d'ouvrage et d'aménagement parisienne
SIC²	Simulation Intégrée des Canaux et de leur Contrôle
Sisyphe	Structure et fonctionnement des systèmes hydriques continentaux

SMA	Système de Management de l'Adaptation
SMBFH	Syndicat Mixte du Bassin du Fleuve Hérault
SME	Système de Management Environnemental
SREPEN	Société Réunionnaise pour l'Étude et la Protection de l'ENvironnement
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UM	Université de Montpellier
UMR	Unité Mixte de Recherche
UPC	Université Polytechnique de Catalogne
URIA	Unité de Recherche en Informatique et Automatique
VIADUC	Valoriser DRIAS et Innover sur l'Adaptation grâce au Design, avec des Usagers concernés par le Climat
ViTECC	Villes, Territoires, Énergie et Changement Climatique
VNF	Voies Navigables de France
WWF	Fonds mondial pour la nature (*World Wide Fund for nature*)

ISBN : 978-2-914770-15-6

Dépôt légal : 2021



ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
Liberté
Égalité
Fraternité