



Appui aux politiques publiques



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE

 Le projet Explore2, des projections hydrologiques pour adapter la gestion de la ressource en eau

Juillet 2024

Dans ce dossier

préparé par Roxane Jupin, Eric Martin, Gisèle Parfait (DAPP, INRAE),
Eric Sauquet, responsable scientifique du projet Explorez (INRAE),
Claire Magand (OFB) et Maïté Fournier (ACTeon)

PAGE 4

Actualiser les projections hydroclimatiques pour alimenter
les politiques d'adaptation en France

PAGE 7

Les besoins des utilisateurs au coeur du travail scientifique :
un parti pris nécessaire à l'utilisation des résultats

PAGE 8

Le volet scientifique d'Explore2 : un exercice multi-scénarios
et multi-modèles pour représenter les futurs possibles

Collection Appui aux Politiques publiques
Dir. de publication : Marion Bardy
Dir. de collection : Gisèle Parfait
Conception et rédaction :
Roxane Jupin
Maquette et mise en page :
EliLocom - www.elilocom.fr, Roxane Jupin
Impression : Biprint
juillet 2024

Photo de couverture : ©AdobeStock, Christian Décout

Photo 2^e de couverture : ©AdobeStock, cedpineau

Portraits : p8 ©Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, p9 ©AcclimaTerra,
p12 ©N. Weiller ACTeon environment



Juillet 2024

Les projections d'Explore2 s'accordent sur des effets du changement climatique d'autant plus sévères que les émissions de gaz à effet de serre seront importantes. Ils conduiront à une intensification de divers événements extrêmes.

Le projet Explore2, des projections hydrologiques pour adapter la gestion de la ressource en eau

Explore2 est un projet inédit en Europe en raison de la masse de données produites. Ces projections et les documents techniques associés, élaborés grâce à la collaboration d'une large communauté scientifique et de deux comités d'utilisateurs, permettent d'engager des études territoriales quant à la disponibilité de la ressource en eau sur l'ensemble du XXI^e siècle et d'en anticiper la gestion.

Le projet Explore2, conduit entre 2021 et 2024, ambitionnait de décrire le climat et celui de la ressource en eau pour l'ensemble du XXI^e siècle à l'échelle de la France hexagonale, tout en assurant sa bonne utilisation. Il a produit un ensemble de projections inédites en termes de richesse de modèles appliqués, de résolution spatiale et temporelle, sans équivalent en Europe, grâce à une communauté d'une quarantaine de scientifiques d'organismes différents mobilisés et fédérés autour des enjeux du changement climatique. Une centaine de représentants des potentiels utilisateurs des résultats d'Explore2 ont également contribué au projet. Ensemble, et sous le pilotage d'INRAE et de l'OiEau, ils

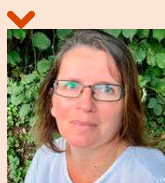
ont pensé des informations utiles et mobilisables par les gestionnaires de l'eau sur leurs territoires. Ainsi, pour une meilleure appréhension des incertitudes liées aux projections, les scientifiques ont proposé quatre narratifs climatiques qui illustrent la diversité des futurs possibles. À l'instar du GIEC, ils ont également rédigé un résumé des principales conclusions à l'échelle de la France hexagonale pour un ensemble de variables descriptives du cycle de l'eau, tout en spécifiant le degré de confiance dans ces résultats et les limites de la connaissance. Tous les résultats de ce projet structurant pour l'ensemble de la politique de l'eau en France sont disponibles en ligne.

CONSULTER LES RESULTATS DU PROJET EXPLORE2

- Les projections hydroclimatiques sur le portail « DRIAS, Les futurs de l'Eau » : <https://www.drias-eau.fr/>
- Le MOOC Explore2 sur la plateforme de formation de l'OiEau : <https://e-learning.oieau.fr/>
- Les cartes de visualisation des principaux résultats sur le site MEANDRE : <https://meandre.explore2.inrae.fr/>
- Les documents techniques sur le site <https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/explore2>
- Le replay du séminaire de restitution : <https://www.seminaire-explore2-lifeeauclimat.oieau.fr/>

➤ Actualiser les projections hydroclimatiques pour alimenter les politiques d'adaptation en France

Préparé depuis 2019, le projet Explore2 a été officiellement lancé en juillet 2021 pour une durée de 3 ans. Il est porté par INRAE pour son volet scientifique et par l'Office international de l'eau (OiEau) pour le volet de transfert des résultats. Le consortium comprend également Météo-France, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), l'École normale supérieure (ENS),



Maud Bérel
Chargée de mission "climat",
ministère de la Transition
écologique et de la Cohésion des
territoires

Ma mission consiste à favoriser la prise en compte du changement climatique dans les politiques de l'eau et de la biodiversité et d'intégrer les enjeux eau et biodiversité dans les politiques climat, que ce soit pour l'atténuation ou l'adaptation. Le ministère a participé aux réflexions lors du montage d'Explore2, car la question de l'impact du changement climatique sur la ressource en eau est cruciale pour les politiques liées à l'eau. Le ministère participe donc au cofinancement des deux volets du projet : scientifique et accompagnement des acteurs des territoires dans l'utilisation des résultats. Nous avons également participé au comité mis en place pour suivre l'avancée des travaux et participé à la valorisation et à la diffusion des résultats. Ce comité, qui réunit partenaires et co-financiers, a émis des recommandations et était un lieu de discussion et de vulgarisation des résultats. Il a également permis de constituer un comité des utilisateurs pour les Outre-mer.

l'Institut de recherche pour le développement (IRD), le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) - qui comprend l'Institut des géosciences de l'environnement (IGE), l'Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL) et Sorbonne Université -, et Électricité de France (EDF). Il est cofinancé par ces partenaires, le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (MTECT) et l'Office français de la biodiversité (OFB) pour un total de 2,2 millions d'euros.

La direction de l'eau et de la biodiversité du MTECT a pris en charge l'organisation événementielle de la restitution des résultats du projet qui s'est tenue le 28 juin 2024. Le bureau d'études ACTeon a quant à lui assuré l'assistance à maîtrise d'ouvrage du projet : organisation du calendrier de travail, suivi technique et financier, rédaction d'une lettre d'information sur l'avancée du projet à destination de ses membres.

Le projet Explore2 réactualise les projections hydroclimatiques des volets « hydrologie de surface » et « hydrologie souterraine » d'Explore 2070. Conduit entre 2010 et 2012, ce projet avait, pour la première fois, mis à disposition des données sur les ressources en eau à l'échelle nationale à l'horizon 2046-2065. Explore2 utilise quant à lui des modèles hydrologiques améliorés grâce à une dizaine de projets conduits depuis Explore 2070 et des projections climatiques régionalisées actualisées à partir des scénarios du cinquième rapport du GIEC. Il porte une attention particulière aux besoins des futurs utilisateurs. En effet, les résultats d'Explore2 répondent à un besoin de données opérationnelles. Ils comprennent :

- Un large ensemble de variables en lien avec le cycle et la gestion de l'eau, choisies avec les futurs utilisateurs pour élaborer des projections sur la ressource en eau et les usages sur leurs territoires ;

- Des projections qui correspondent à une hydrologie dite « naturelle » qui permet aux gestionnaires de simuler et tester des scénarios d'usage et de gestion de l'eau sur leurs territoires ;
- Des documents didactiques, des fiches de synthèse, un MOOC dont les contenus ont été co-construits avec un panel d'utilisateurs : cette variété de supports doit permettre aux acteurs de l'eau de prendre en main les données, de comprendre les outils de simulation mobilisés, de les sensibiliser aux incertitudes ;
- Des conclusions étayées par les résultats des projections obtenues assorties d'une confiance accordée après expertise des partenaires scientifiques (compte tenu notamment des incertitudes, des connaissances sur les processus et des niveaux de développement des modèles).

Afin d'assurer la bonne compréhension et l'utilisation des nouvelles projections, un processus d'accompagnement auprès des acteurs de l'eau - agences de l'eau, collectivités, bureaux d'études, etc.-, a été mis en place et animé par l'OiEau.

UN PROJET INSCRIT DANS 20 ANS DE POLITIQUES NATIONALES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La démarche d'adaptation aux changements climatiques est enclenchée au niveau national par le ministère chargé de l'environnement à la fin des années 1990. Elle vient en complément des actions lancées pour atténuer les émissions de gaz à effet de serre.

Dans la continuité du programme de recherche sur la gestion et les impacts du changement climatique (GICC) débuté en 1999, la France a adopté en 2006 une stratégie nationale d'adaptation aux changements



Principaux jalons des politiques publiques d'adaptation au changement climatique

¹ Gestion et impacts du changement climatique Plan national d'adaptation au changement climatique

² Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

³ Plan climat-air-énergie territorial

Dans les Outre-mer : monter un exercice similaire à Explore2 répondant aux enjeux locaux

Dans les Outre-mer, les connaissances sur les impacts du changement climatique demandent d'être approfondies pour y lancer un exercice tel qu'Explore2. Les pilotes du projet ont pris le parti de procéder en deux étapes : identifier les données disponibles et les besoins en outils et en connaissances des acteurs de la gestion de l'eau de ces territoires, puis mettre en place les conditions nécessaires au développement d'un programme de travail (instrumentation, modélisation, concertation avec les acteurs). La phase de recensement a été conduite par INRAE avec le soutien de la communauté scientifique du projet. La démarche suit son cours *via* des rencontres techniques et l'animation d'une rubrique « Outre-mer et changement climatique » sur les sites Gest'eau et DRIAS-Climat : <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/305>

climatiques. Le premier plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) (2011-2015) est issu du Grenelle de l'Environnement de 2007. La COP21 a été l'occasion de lancer les travaux pour actualiser la politique française d'adaptation aux changements climatiques en cohérence avec l'accord de Paris. Le PNACC2 (2018-2022) avait pour objectif d'adapter la France à un réchauffement de 2°C. Ces politiques publiques d'adaptation aux changements climatiques sont complémentaires à la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et à la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), qui s'inscrivent elles-mêmes plus largement dans la stratégie française pour l'énergie et le climat et pour la réduction des gaz à effet de serre. De même, elles font échos aux politiques publiques de l'eau comme le Varenne de l'eau et de l'adaptation au changement climatique de 2022,

les Assises de l'eau de 2019 et le Plan eau de 2023.

Les projections climatiques du GIEC nécessitent de réactualiser ces politiques publiques.

Les projections hydroclimatiques produites dans le cadre d'Explore2 répondent aux enjeux d'adaptation de ces politiques publiques climatiques nationales. Elles nourriront également la réflexion « France Nation Verte » issue de la planification pour la transition écologique.

À l'échelle territoriale, les projections seront utiles pour la révision des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) qui débutera en 2025, l'élaboration des 100 « projets de territoire pour la gestion de l'eau » (PTGE) à l'horizon 2027, la révision des plans climat-air-énergie territoriaux, l'élaboration des programmes d'actions de prévention contre les inondations (PAPI), etc. Elles



Najib Mahfoudhi

Coordonnateur interministériel du plan eau-
DOM, ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires



Je pilote le plan eau-
DOM qui vise à accompagner les collectivités d'Outre-mer dans leur gestion de l'eau et de l'assainissement. Je m'appuie sur une équipe interministérielle et une équipe-projet positionnée dans les DEAL. À la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB), je traite de manière transversale les sujets liés à la biodiversité. En tant que porteurs de ces politiques publiques, les projections hydroclimatiques nous importent beaucoup. Les Outre-mer sont confrontés à la fois aux aléas et au changement climatique qui impacte fortement l'alternance entre saison sèche et humide. Il a donc été décidé, avec l'OiEau et INRAE, de créer, dans chaque territoire, un groupe de travail réunissant les acteurs de l'eau et du changement climatique afin de mieux connaître les données disponibles, les projets déjà conduits ou en cours, et d'identifier les verrous scientifiques à lever. L'objectif, à moyen terme, est de réaliser un exercice de type Explore2 dans les Outre-mer. Le chef de projet de chaque territoire, l'OiEau, INRAE et la DEB, organisent des réunions d'échange sur les besoins afin que nous disposions d'une trajectoire par territoire pour lancer la démarche.

permettront aux acteurs de l'eau de connaître l'évolution des ressources en eau sur leurs territoires, d'initier des démarches prospectives territoriales sur les usages de l'eau et les conditions d'une gestion durable de la ressource, et de définir et mettre en place des plans d'adaptation en

adéquation avec les enjeux locaux des territoires. Les projections d'Explore2 deviendront ainsi des outils de mise en œuvre et d'élaboration de politiques publiques.

Une suite immédiate du projet Explore2 consistera à actualiser ses résultats en s'appuyant sur le scénario d'une France à + 4 °C à la fin du siècle. Ce scénario, baptisé TRACC (trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique) est le scénario de référence choisi par le gouvernement pour le futur PNACC3. L'ensemble des documents de planification devront ainsi être basés sur cette trajectoire.

Le retour d'expérience (<https://hal.inrae.fr/hal-02930768>) conduit auprès des utilisateurs par INRAE et financé par l'OFB a dessiné les contours d'Explore2. En est ressorti le besoin d'une étude nationale actualisée faisant référence en matière d'hydrologie. Celle-ci devait intégrer de nouveaux horizons temporels, un contenu scientifique opérationnel et une offre plus large d'indicateurs. Un nombre plus étendu de points de simulation qui intègrent mieux les besoins des territoires et les échelles de décision a également été demandé.

Au-delà du contenu scientifique, le retour d'expérience a mis en avant la nécessité de penser l'accessibilité de l'étude.



Sonia Siauve
Coordinatrice
du projet LIFE
Eau&Climat. Office
international
de l'eau (OiEau)

J'ai piloté le volet "accompagnement" du projet Explore2 dans ses deux premières années avec notamment la mise en place des deux comités d'utilisateurs. Dans cette interface entre les scientifiques et les quelques 50 familles d'utilisateurs des projections hydroclimatiques, je me suis assurée que les notions étaient bien comprises, que les besoins étaient exprimés et pris en compte par tous. J'ai également facilité la compréhension et l'implication des utilisateurs dans les démarches scientifiques. Pour cela, ces derniers ont régulièrement présenté et illustré des notions complexes, en fonction des besoins exprimés par les utilisateurs, comme par exemple : les stations de référence utilisées pour caler les modèles, les stations de restitution, la sélection des variables ou encore la notion de chaîne de modélisation. Les utilisateurs sont en demande de contacts et de partage des connaissances scientifiques. La production d'outils d'accès aux données, comme le MOOC et le portail DRIAS-eau développé dans le projet LIFE Eau&Climat, contribue à la bonne utilisation de données extrêmement précieuses pour les gestionnaires de l'eau qui préparent leurs plans de gestion de l'eau par exemple. Communiquer entre les deux mondes n'est pas naturel, mais fondamental pour mieux garantir la pertinence des choix et l'appropriation des résultats. C'est une des originalités du projet Explore2 et j'espère avoir pu apporter ma contribution à ce dialogue.

UN PROJET QUI S'APPUIE SUR LE RETOUR D'EXPÉRIENCE ET LES BESOINS DES UTILISATEURS...

Explore 2070 a été la première étude nationale consacrée à la qualification des impacts des changements climatiques en France. Elle s'est intéressée à huit domaines : le climat, l'hydrologie de surface, l'hydrologie souterraine, les écosystèmes aquatiques, les milieux côtiers, les prospectives socio-économiques et démographiques et l'évaluation des stratégies d'adaptation.

Lancée à l'initiative du ministère chargé de l'écologie et porté par sa direction de l'eau et de la biodiversité (DEB), elle ambitionnait d'aider les pouvoirs publics et leurs opérateurs - agences de l'eau, comités de bassin, structures porteuses de schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), directions départementales des territoires (DDT), collectivités territoriales, bureaux d'études, ministères, OFB - à élaborer et évaluer des stratégies d'adaptation pour la gestion des eaux de surface et souterraines.

Si les projections hydroclimatiques du projet Explore 2070 ont contribué à élaborer des stratégies de gestion de l'eau, l'exploitation des données s'est limitée aux organismes en capacité de traiter et d'interpréter des données très techniques.

... ET SUR UNE LARGE MOBILISATION, INFORMATION ET FORMATION DES FUTURS UTILISATEURS ET DES DÉCIDEURS DANS LE DOMAINE DE L'EAU

Face à la sous-utilisation des résultats d'Explore 2070 dû notamment à la complexité de leur appropriation, les porteurs d'Explore2 ont intégré, dès le montage du projet, un volet « accompagnement des utilisateurs ». Celui-ci prévoyait une forte interface avec ces derniers pour co-construire les résultats et aider à leur bonne compréhension. Explore2 s'est donc structuré autour d'un volet scientifique et d'un volet d'accompagnement.

Le volet « accompagnement des utilisateurs » a bénéficié pour partie de la dynamique et des moyens du projet LIFE Eau&Climat porté par l'OiEau et associant Météo-France et INRAE. L'objectif du projet est d'aider les acteurs locaux à prendre en compte les effets du changement climatique dans leurs plans de gestion et à mettre en œuvre les mesures d'adaptation pour leurs territoires. Les calendriers et objectifs des deux projets se recouvrent, LIFE Eau&Climat a financé le portail « DRIAS, Les futurs de l'eau », ainsi que le site MEANDRE, sur lesquels sont mises à disposition les projections hydroclimatiques issues d'Explore2 et les cartes interactives en présentant les principaux résultats.

➤ Les besoins des utilisateurs au cœur du travail scientifique : un parti pris nécessaire à l'utilisation des résultats

Le volet « accompagnement des utilisateurs », porté par l'OiEau, repose plus spécifiquement sur des échanges réguliers avec deux comités d'utilisateurs à raison de deux réunions par an et de sollicitations ponctuelles. Le premier comité, dit « COUT A », est composé de 36 représentants des ministères, de l'OFB, des DREAL, des DDT, de bureaux d'études et des collectivités qui participent aux réunions et répondent aux sollicitations. Le second comité, dit « COUT B », est composé une soixantaine de personnes plus largement intéressées par les résultats d'Explore2. Elles répondent aux sollicitations, mais ne participent pas aux réunions.

Un comité d'utilisateurs des Outre-mer, dit « COUT OM », a également été mis en place. Il rassemble des représentants des directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL), de l'OFB, d'INRAE, de l'Observatoire du développement durable, du MTECT et de sa direction de l'eau et de la biodiversité, et du ministère des Outre-mer. Il recueille les besoins spécifiques de ces territoires afin d'initier, à terme, un projet similaire à Explore2 répondant aux enjeux des Outre-mer. Ces comités ont été impliqués tout au long du projet.

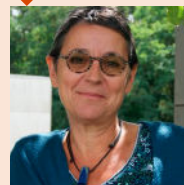
L'objectif des concertations est à la fois d'échanger sur les besoins en données, leurs usages, les formats de restitution des livrables, ou encore les spécificités des Outre-mer, mais également d'assurer la pleine compréhension, et ainsi l'utilisation et l'appropriation, des projections hydroclimatiques par tous les acteurs de la gestion de l'eau sur le temps du projet et après.

Les COUT A et B ont ainsi permis d'éclaircir des confusions sur certains termes employés par les scientifiques, tels que « point de simulation », « point de restitution » et « point d'évaluation ». Ils ont également permis de

clarifier le périmètre d'Explore2 en indiquant les variables et indicateurs les plus pertinents pour la gestion de l'eau. Les COUT ont aussi été sollicités pour expertiser les chroniques de débits qui sont les points de référence pour le diagnostic des modèles hydrologiques. Certains membres de ces comités, novices en hydrologie, ont pu prendre conscience de la variabilité temporelle des débits actuels, des difficultés d'isoler des données aberrantes, etc. Ce travail collectif a donné lieu à une publication scientifique (<https://hal.inrae.fr/hal-04214908>). Les formats de restitution ont également été discutés, ainsi que le prototype des fiches qui présentent les résultats de modélisation aux points de simulation.

Enfin, un travail spécifique a été mené avec les COUT pour représenter visuellement les incertitudes et faciliter leur lecture par les gestionnaires de l'eau. En effet, le futur n'est pas connu avec certitude et les stratégies d'adaptation doivent donc être élaborées en intégrant diverses hypothèses ou trajectoires.

En plus du travail de co-construction des livrables et d'explicitation des résultats au sein des COUT, les scientifiques ont contribué à l'écriture et la réalisation d'un MOOC, piloté par l'OiEau, visant également au bon transfert des données et des conclusions aux gestionnaires de l'eau.



Natacha Jacquin

Responsable de projets, Office international de l'eau (OiEau)

L'intelligence collective et les démarches participatives sont au centre de mes projets depuis des années et c'est dans cet esprit que j'ai coordonné la conception du MOOC d'Explore2. Cette formation gratuite, ouverte à toutes et tous, vise à faciliter l'appropriation des résultats d'Explore2 par les utilisateurs chargés de planifier l'utilisation des ressources en eau de leur territoire : gestionnaires de l'eau, bureaux d'études, non-spécialistes du climat. Le MOOC a ainsi été créé collégialement avec le comité des utilisateurs afin de proposer un contenu qui répond à leurs besoins de formation. La trame du MOOC a été construite avec la communauté scientifique du projet et validée par le comité d'utilisateurs. Une vingtaine de scientifiques y donnent les clefs pour comprendre les choix scientifiques, trouver les informations produites sur les territoires et savoir les utiliser. Le MOOC est composé de 15 modules répartis en 3 séquences : connaître, comprendre, appliquer. Les utilisateurs y trouveront de nombreuses vidéos de scientifiques, un forum de discussion et des quiz.

Un MOOC pour faciliter la compréhension et l'exploitation des résultats

Le MOOC Explore2 (<https://e-learning.oieau.fr/>) donne les clefs pour comprendre les dernières projections hydroclimatiques disponibles à l'échelle de la France et pour savoir exploiter ces résultats pour une meilleure adaptation de la gestion de l'eau aux changements climatiques.

Il comporte trois séquences et 15 modules au total avec des vidéos, quiz, un forum de discussion, ainsi que des ressources supplémentaires.

Séquence 1 : Connaître les notions

Séquence 2 : Comprendre les choix

Séquence 3 : Appliquer sur son territoire



Anne Pressurot

Pilote pour la gestion quantitative et le changement climatique, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

Je m'occupe de la réflexion sur la gestion quantitative de l'eau et le changement climatique. Nous utilisons les modélisations d'Explore2 dans le nouveau plan d'adaptation sur le bassin Rhône-Méditerranée pour y caractériser la vulnérabilité des territoires aux effets du changement climatique. Les résultats d'Explore 2070 nous avaient déjà été utiles pour ce premier plan d'adaptation français initié sur ce bassin en 2014, puis pour le plan d'adaptation du bassin de Corse en 2018. L'approche multi-modèles d'Explore2 est intéressante pour mettre en valeur les projections possibles et leurs incertitudes. De plus, Explore2 permet de caractériser plus finement de nouvelles simulations hydrologiques et climatiques, avec des zooms territoriaux et climatiques. Faire partie du comité utilisateurs permet de construire l'outil de simulation des effets du changement climatique avec les scientifiques, de prendre du recul sur les différentes utilisations, voire d'explicitier la variabilité des résultats et de vulgariser *in fine* les produits d'Explore2. La provenance différente des utilisateurs enrichit les réflexions et propositions.

Le volet scientifique d'Explore2 : un exercice multi-scénarios et multi-modèles pour représenter les futurs possibles

Le volet scientifique d'Explore2 est piloté par INRAE. Il s'appuie sur un consortium scientifique qui travaille, avec les utilisateurs, à l'élaboration des projections hydroclimatiques, au choix des points de simulation utilisés pour la modélisation hydrologique, à celui des variables à modéliser, aux statistiques à calculer et incertitudes associées, jusqu'à la production des simulations et l'évaluation des modèles. Le volet scientifique inclut enfin la centralisation des résultats issus des modèles dans une perspective de diagnostic et la validation des livrables.

Le volet scientifique consiste à régionaliser les projections globales produites par le GIEC en termes de climat et à les traduire en termes d'hydrologie. Cette « descente d'échelle » du global au local permet de simuler les débits, la recharge en eau des aquifères et le niveau des nappes, et d'en déduire les statistiques moyennes et les extrêmes : fortes précipitations, crues, sécheresses, étiages. Le projet accompagne les résultats obtenus par une qualification des différentes incertitudes associées (identification des origines de ces incertitudes).

PROJECTIONS CLIMATIQUES SUR TROIS SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Les scientifiques d'Explore2 ont élaboré des projections climatiques pour servir de données d'entrée à l'ensemble des modèles hydrologiques, afin que tous les modèles

utilisent le même jeu de données et que leurs données de sortie soient comparables entre elles. Les données climatiques s'appuient sur les projections climatiques régionalisées issues de la base de données européenne Euro-Cordex, elle-même constituée à partir des projections mondiales du programme CMIP5. Ces projections Euro-Cordex ont été obtenues en croisant des modèles globaux et régionaux permettant d'accéder à une description du climat à la résolution spatiale de 12 km et au pas de temps journalier.

Dans le cadre du projet Explore2, les projections Euro-Cordex ont été corrigées de biais par deux méthodes et projetées sur une grille de résolution de 8 x 8 km couvrant la France hexagonale (maillage SAFRAN). Les paramètres du climat - température, humidité, vents, précipitations solides et liquides, rayonnement solaire, évapotranspiration - sont ainsi renseignés sur une carte divisée en cellules de 8 x 8 km au pas de temps journalier pour la période 1976-2100.

Finalement, 36 projections climatiques issues d'Euro-Cordex ont été sélectionnées après expertise (vérification de la compatibilité avec les premiers résultats du sixième rapport du GIEC), sous trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre :

- RCP2.6 : Atténuation consécutive, émissions faibles,
- RCP4.5 : Atténuation limitée, émissions modérées,
- RCP8.5 : Pas d'atténuation, émissions fortes.

Publications et communication autour du projet Explore2

À ce jour, le consortium Explore2 a collectivement publié une trentaine de rapports et articles scientifiques. Il s'est par ailleurs grandement investi dans la communication du projet et de ces résultats avec plus de 80 participations à divers séminaires, groupes de travail, réunions, formations, interviews radiophoniques, festivals scientifiques, colloques, conférence de presse...

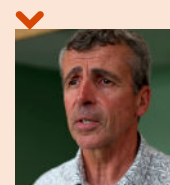
PROJECTIONS HYDROLOGIQUES DE SURFACE ET SOUTERRAINE : DÉTECTER DES CHANGEMENTS D'ORIGINE CLIMATIQUE DANS LES RÉGIMES HYDROLOGIQUES

À partir des projections climatiques, les hydrologues d'Explore2 ont réalisé la modélisation de la ressource en eau sur l'ensemble du XXI^e siècle. Les données de sortie des modèles sont des variables descriptives des différents compartiments du cycle de l'eau : le débit des cours d'eau, les niveaux piézométriques, la recharge potentielle des aquifères, l'évapotranspiration réelle, l'indice d'humidité du sol, etc. Elles permettent de calculer des indicateurs représentatifs soit d'un comportement moyen, soit de valeurs extrêmes : débit moyen mensuel ou annuel, cumul annuel de neige ou d'évapotranspiration, débits d'étiage, de crue, nombre maximal de jours en dessous d'un seuil de débit ou d'humidité du sol, etc. Les projections hydrologiques sont produites grâce à une approche multi-modèles qui mobilise un

Choix des stations hydrométriques et indicateurs hydrométriques

Il existe, en France, plusieurs milliers de stations hydrométriques, mais toutes ne sont pas adaptées à la détection de changements d'origine climatique. Afin de percevoir ces changements, une sélection à dire d'experts a été opérée pour ne conserver que les stations les moins influencées par les actions humaines pour réduire les risques de détecter des changements d'origine non climatique. Les stations choisies doivent fournir des séries de mesures d'au moins 40 ans afin d'avoir le recul suffisant pour détecter des changements qui se manifestent sur le long terme. Ces stations doivent produire des données de bonne qualité, avec une qualité restée stable dans le temps. Cette homogénéité est une condition d'autant plus difficile à tenir que les séries sont longues. Ces raisons expliquent la difficulté de conduire un exercice de type Explore2 en Outre-mer où la donnée hydrologique est plus récente et moins stable. Chacune des stations fournit une chronique de débits journaliers qui permet de calculer des séries d'indicateurs qui décrivent le régime hydrologique : débit journalier maximum annuel pour renseigner les risques de crues, débit moyen annuel pour la ressource en eau disponible chaque année, ou encore le plus petit débit observé chaque année si on s'intéresse aux étiages de la rivière.

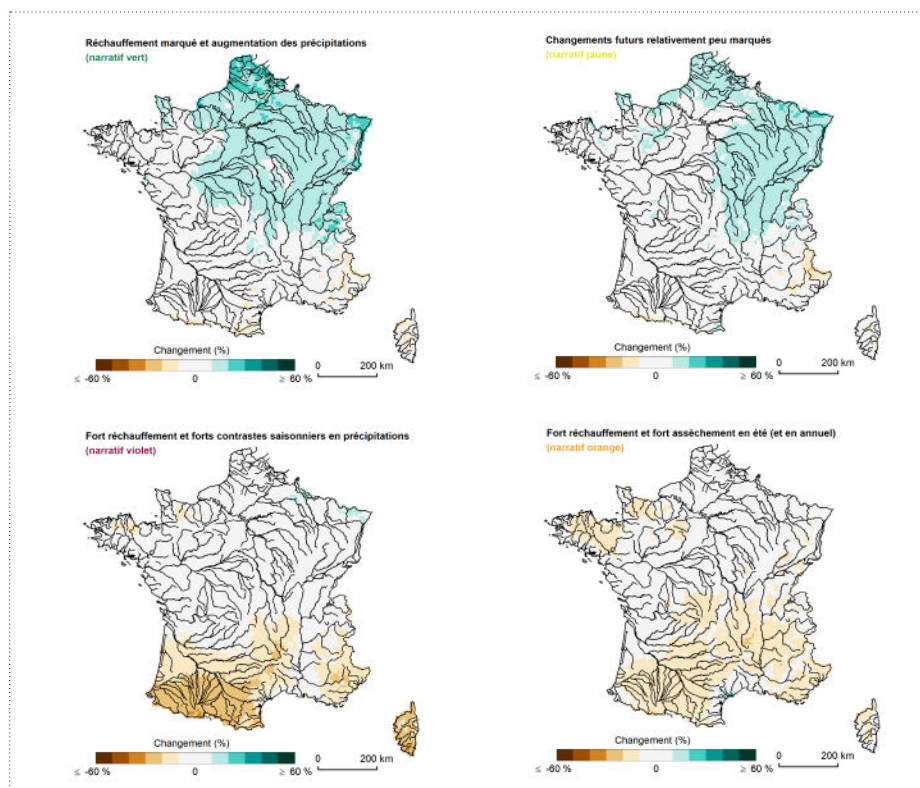
ensemble de neuf modèles hydrologiques (EROS, CTRIP, GRSD, J2000, MORDOR-SD et MORDOR-TS, ORCHIDEE, SIM2, SMASH), le modèle RECHARGE qui simule la recharge des aquifères, la plateforme de



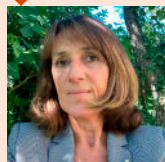
Jean-Michel Soubeyrou

Directeur adjoint scientifique, direction de la climatologie et des services climatiques, Météo-France

La direction dans laquelle j'opère vise notamment la connaissance du changement climatique, passé et futur en France et le développement de services climatiques. Au sein d'Explore2, je coordonne les contributions de Météo-France au projet. Nous avons particulièrement travaillé sur la correction des biais liés aux modèles climatiques régionalisés utilisés pour obtenir les projections hydrologiques. Ces biais concernent la distribution spatiale et temporelle des températures et des précipitations, variables très importantes pour l'hydrologie. Pour reproduire le climat plus fidèlement, nous appliquons donc des méthodes statistiques qui corrigent ces biais. Avec la communauté scientifique d'Explore2, nous avons retenu deux méthodes : ADAMONT et CDF-t. Les 41 simulations climatiques choisies pour Explore2 combinées à ces méthodes ont donné un ensemble de 82 simulations climatiques disponibles comme données d'entrée pour les modèles hydrologiques. C'est un progrès significatif par rapport à Explore 2070 qui ne s'appuyait que sur 6 simulations.



Évolution des cumuls annuels de précipitations pour les quatre narratifs d'Explore2 sous scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre d'ici 2070 (par rapport à la période de référence 1976-2005).



Mireille Brun

Chargée de mission sur la gestion de l'eau, Chambre régionale d'agriculture Provence-Alpes-Côte d'Azur



En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, les prélèvements d'eau à des fins agricoles se font en grande majorité dans les cours d'eau, et alimentent des réseaux d'irrigation collectifs. Connaître l'évolution des débits dans les cours d'eau et évaluer les volumes prélevables impliquent l'administration, les techniciens des chambres d'agriculture, les bureaux d'études, et les scientifiques qui font tourner les modèles de projection. Le projet Explore2 est crucial, car il s'adresse à tous ces acteurs. J'ai rejoint le comité des utilisateurs (COUT A) à son lancement, où nous avons été associés à l'analyse critique des données sur les cours d'eau et les chroniques de débit. C'était une première. Nous avons apporté nos besoins et notre connaissance du terrain. L'enrichissement du portail DRIAS-eau facilite l'accessibilité et l'utilisation des données. L'explicitation des scénarios et des incertitudes soutient également les projets de modernisation des équipements. Nous souhaitons tous des réponses simples à nos interrogations sur l'eau disponible dans le futur, mais il faut admettre que certaines décisions doivent supporter une part d'incertitude. En PACA, il existe un bouquet de solutions possibles : développer l'agroécologie, l'adaptation des espèces et variétés, limiter les pertes dans les aménagements hydrauliques, moderniser les réseaux, etc.

modélisation hydrogéologique nationale AQUI-FR et le modèle hydrogéologique MONA spécifique au contexte nord aquitain.

Le projet Explore2 fournit une « hydrologie de référence » sur laquelle bâtir des exercices prospectifs. Les débits simulés sont considérés comme naturels. En revanche, il n'a pas été possible de modéliser les niveaux de nappe sans intégrer les prélèvements ; ils resteront à leur niveau actuel sur le XXI^e siècle.

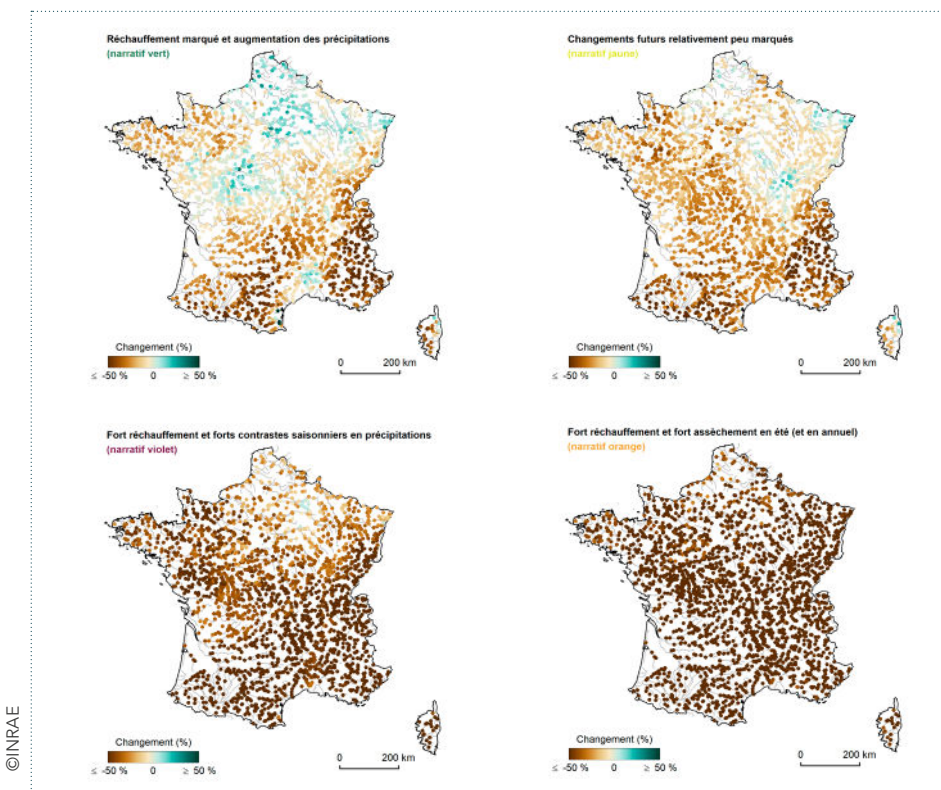
Cette hydrologie de référence est restituée sur 4 000 points de simulation des débits positionnés sur le réseau hydrographique (contre 1 522 dans Explore 2070), pour la plupart situés sur les réseaux de surveillance nationaux. Sur ces points de simulation sont fournies des données au pas de temps journalier. Explore2 fournit des résultats sur les petits bassins versants non jaugés de plus de 64 km². Les niveaux piézométriques sont fournis sur 1 200 points de simulation

correspondant à des piézomètres et sur une grille de 1 km de résolution pour le modèle AQUI-FR, et 2 km de résolution pour le modèle MONA. La recharge est estimée sur un découpage de la France hexagonale en masses d'eau souterraine.

ESTIMER ET COMMUNIQUER LES INCERTITUDES : DES ESSENTIELS POUR UN BON USAGE DES DONNÉES DU PROJET

Les projections hydrologiques résultent d'un enchaînement d'étapes comportant chacune une part d'incertitude :

- celle liée au scénario socio-économique et donc aux émissions de gaz à effet de serre ;
- celle liée à la modélisation climatique ;
- celle induite par la descente d'échelle et la correction de biais ;
- enfin celle inhérente à la modélisation hydrologique.



Évolution du débit moyen estival pour les quatre narratifs d'Explore2 sous scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre d'ici 2070 (par rapport à la période de référence 1976-2005).

L'incertitude résiduelle correspond à la variabilité interne du système. La succession des modèles et hypothèses crée une cascade d'incertitudes. Afin de mieux quantifier l'incertitude, la stratégie usuelle est de multiplier les modèles à chaque étape.

L'utilisation de trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre permet d'analyser les résultats sous l'angle de l'évolution socio-économique. De même, l'approche multi-modèles permet d'estimer les incertitudes liées aux hypothèses de modélisation et de quantifier l'incertitude liée à la modélisation climatique régionalisée, hydrologique et hydrogéologique. La multiplication des simulations fournit un nombre très important de données que certains utilisateurs ont du mal à prendre en compte. Afin d'illustrer les incertitudes de ces projections, le choix a donc été fait de délivrer les projections hydroclimatiques du projet sous forme de « narratifs ».

DES PROJECTIONS HYDROCLIMATIQUES SOUS FORME DE RÉCITS, DITS "NARRATIFS"

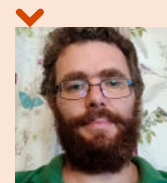
L'approche par « narratif » consiste à sélectionner un nombre réduit de simulations parmi l'ensemble total, selon des critères propres au besoin d'une étude ou d'un utilisateur donné. Un narratif correspond donc à une projection individuelle parmi les 36 retenues ici. Sur la base de cette projection, on peut décrire un déroulement physiquement cohérent d'événements futurs plausibles. Afin d'explorer plusieurs futurs possibles, il est important d'envisager plusieurs narratifs. De plus, le choix d'un narratif dépend du contexte, il est toujours subjectif. C'est pourquoi il est important de décrire comment les narratifs ont été sélectionnés et comment ils se situent au sein de la distribution de l'ensemble des projections disponibles.



Sandra Lanini

Modélisatrice hydrogéologue, Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

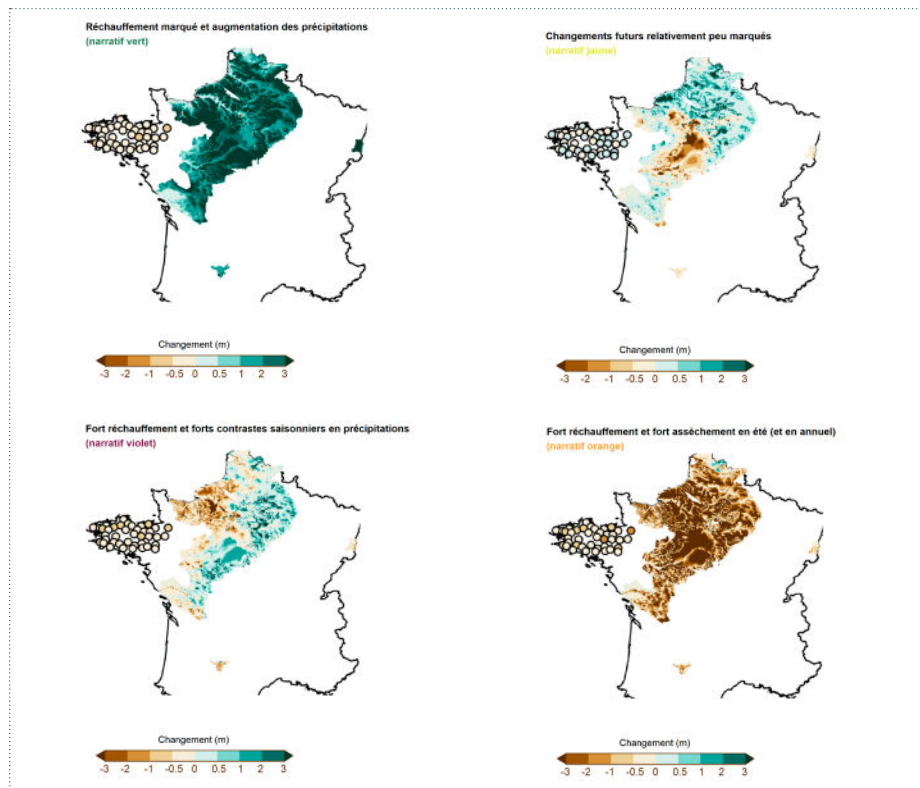
Je développe différents types de modèles en fonction de la complexité des hydrosystèmes à étudier. Dans Explore2, je mets en œuvre le modèle RECHARGE qui fournit, pour toute la France et à l'échelle de chaque masse d'eau, une estimation de la part des pluies qui s'infiltrent et rechargent potentiellement les aquifères. Pour modéliser les eaux souterraines, nous mettons en œuvre plusieurs autres modèles hydrogéologiques pour à la fois simuler l'évolution de la charge hydraulique et reproduire au mieux les observations de débit et de niveau de nappe à l'échelle des bassins versants. Afin de modéliser l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines, nous avons appliqué ces modèles sur la période récente pour les calibrer en fonction de nos observations, puis les avons appliqués pour simuler des scénarios dans lesquels les conditions extérieures variaient. Dans Explore2, les modèles ont été mis en œuvre de nombreuses fois en utilisant différentes projections climatiques. Au-delà des résultats moyens, il est d'ailleurs important de souligner une grande variabilité des résultats selon les projections climatiques utilisées.



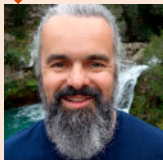
Olivier Canlers

Chargé de mission sur la gestion quantitative de l'eau, DREAL Hauts-de-France, délégation de bassin Artois-Picardie

En tant que chargé de mission sur la gestion quantitative de l'eau, je travaille en lien avec l'Agence de l'eau et les schémas d'aménagement et de gestion des eaux sur la détermination des volumes prélevables en période de basses-eaux. Ce qui nous intéresse, c'est de pouvoir apprécier au mieux l'impact du changement climatique sur la ressource en eau à l'échelle locale. Nous avons besoin de données journalières, comme nous en avons pour les données climatiques disponibles sur DRIAS. Plus c'est précis, mieux c'est. Je suis satisfait, car les échanges sont très agréables. C'est important d'avoir un espace d'échange, car nous avons beaucoup d'attentes sur ce projet.



Évolution de la hauteur de nappe moyenne annuelle pour les quatre narratifs d'Explore2 sous scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre d'ici 2070 (par rapport à la période de référence 1976-2005).



Yves Trambly

Directeur de recherche en hydrologie, Institut de recherche pour le développement (IRD)

Je travaille sur les impacts du changement climatique sur les extrêmes. On estime que 26 % de la population française y sont exposés avec des risques de forts impacts socio-économiques. Mon premier axe de recherche vise à mieux comprendre comment l'intensité, la fréquence et la répartition spatiale des aléas changent ; le second vise à développer des outils de simulation pour mieux s'adapter à ces événements extrêmes. En France, on observe différents types d'épisodes extrêmes selon les régions, par exemple les crues méditerranéennes rapides, des crues nivales dans les régions de montagne, ou encore à la Réunion ou dans les Antilles du fait de l'activité cyclonique. Les sécheresses hydrologiques peuvent, elles, toucher simultanément une grande partie du territoire métropolitain et augmentent du fait de la hausse des températures. Le rapport Explorez sur les extrêmes hydrologiques fournit des scénarios d'évolution probable des pluies intenses, crues et sécheresses hydrologiques dans les différents scénarios futurs d'émissions de gaz à effet de serre.

Des projets complémentaires à Explorez

Des méthodes et démarches développées au sein d'autres projets pourront servir à exploiter les projections hydrologiques d'Explorez dans les stratégies d'adaptation territoriales. C'est le cas :

- des méthodes pour utiliser les projections hydrologiques dans la construction des stratégies de gestion de l'eau élaborées dans le cadre du projet Life Eau&Climat, coordonné par l'OiEau. 21 schémas d'aménagement et de gestion des eaux sont concernés ;
- de la démarche de diagnostic de vulnérabilité des zones protégées qui s'appuie sur des projections et données hydroclimatiques établies dans le projet Life NaturAdapt ;
- des solutions d'adaptation fondées sur la nature du projet Life intégré ARTISAN pour accroître la résilience des territoires au changement climatique.

Dans le cadre d'Explorez2, la sélection des narratifs s'est faite en co-construction entre les hydrologues et les comités d'utilisateurs, pour répondre au besoin d'illustrer des futurs possibles du climat et de l'eau en France hexagonale, avec un focus particulier sur les risques de sécheresse. Les scientifiques ont ainsi choisi quatre narratifs qui correspondent à des évolutions contrastées de températures sous scénario d'émissions fortes (RCP8.5) et de précipitations en fin de siècle. Leur qualificatif a été donné relativement à l'ensemble d'Explorez2 :

- le narratif vert : réchauffement marqué et augmentation des précipitations ;
- le narratif jaune : changements futurs relativement peu marqués ;
- le narratif violet : fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations ;
- le narratif orange : fort réchauffement et fort assèchement en été et en annuel.

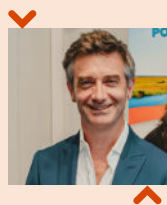
Malgré leurs différences, ces quatre narratifs partagent tous un réchauffement toujours plus marqué en été qu'en hiver et une hausse de l'évapotranspiration de référence.

QUATRE ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES POSSIBLES À L'HORIZON 2100 SOUS FORTES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Les évolutions projetées dans les quatre narratifs établis ont été élaborées sous condition de fortes émissions de gaz à effet de serre et sont à considérer au regard de la période de référence 1976-2005 :

Narratif vert « Réchauffement marqué et augmentation des précipitations »

Le réchauffement s'élève à + 5 °C à l'échelle de la France, avec des contrastes saisonniers marqués : + 4 °C en hiver et + 6 °C en été. Les précipitations moyennes augmentent de + 6 %. Cette tendance à la hausse résulte d'une augmentation marquée en hiver particulièrement forte sur la moitié nord, et non compensée par l'assèchement en été peu significatif. Ce narratif fait apparaître un fort contraste en termes de débits estivaux : ils se maintiennent dans le nord du pays et sont à la baisse dans le sud de la France. Les aquifères du



Eric Sauquet

Directeur de recherche en hydrologie, responsable scientifique d'Explorez2, INRAE

Je travaille depuis les années 90' sur la caractérisation du fonctionnement des bassins versants et depuis 2007 sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie et la gestion de l'eau à travers des projets soutenus par l'OFB, les agences de l'eau et le ministère chargé de l'environnement. Ces projets d'aide à la gestion de l'eau sur différents bassins versants vont parfois jusqu'à l'intégration de trajectoires socioéconomiques pour examiner l'adéquation entre

l'offre et la demande en eau. En 2010, Explorez2070 a été une étude pionnière traitant de l'impact du changement climatique en France. Quelques années plus tard, une vraie attente collective a émergé quant à l'actualisation de ces données au regard des travaux du GIEC. C'est ce qui m'a motivé à m'impliquer dans Explorez2. J'ai bénéficié d'un grand soutien des partenaires pour le lancer et le coordonner, ainsi que de la confiance du ministère et de l'OFB. Explorez2 n'est pas *sensu stricto* un projet de recherche. Nous avons pourtant débattu et réajusté certains choix, cela fait partie de la vie de tout projet et montre que le traitement du changement climatique reste un objet de recherche.

nord de la France bénéficient d'une recharge active et affichent des niveaux moyens annuels à la hausse, sauf en Bretagne.

Narratif jaune « Changements futurs relativement peu marqués »

Le réchauffement ne dépasse pas le seuil des + 4 °C à l'échelle de la France, avec des contrastes saisonniers modérés : + 3 °C en hiver et + 4 °C en été. Les précipitations moyennes augmentent de 6 %. Cette tendance à la hausse résulte d'une augmentation en hiver marquée sur la moitié nord, et non compensée par l'assèchement modéré en été non significatif sur un large quart nord-est.

Ce narratif fait apparaître un contraste en termes de débits estivaux : ils se maintiennent dans le nord-est du pays et sont à la baisse dans le sud de la France. Les aquifères du nord de la France bénéficient d'une recharge

active et affichent des niveaux moyens annuels à la hausse uniquement sur l'extrémité nord de la France.

Narratif violet « Fort réchauffement et fort assèchement en été »

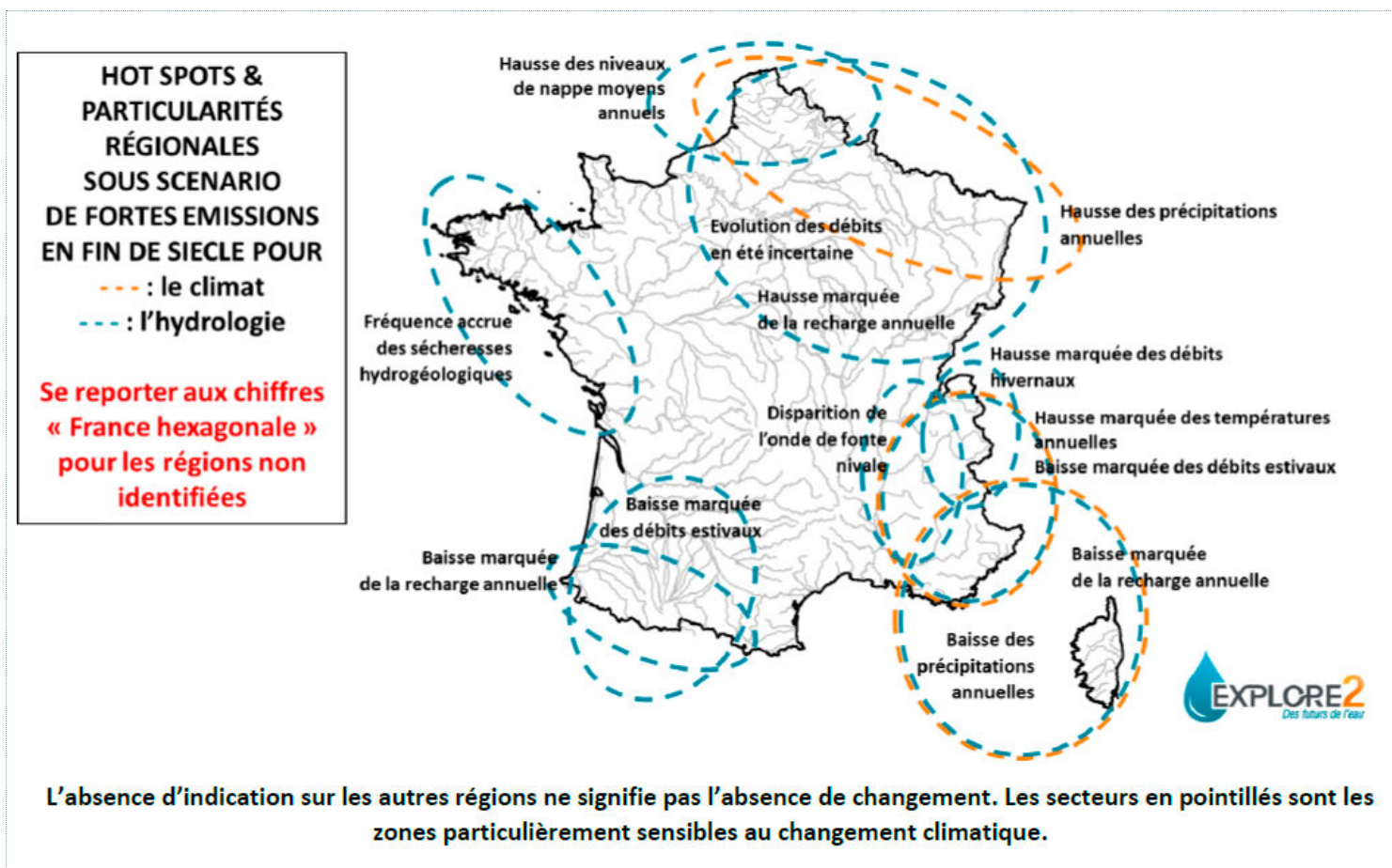
Le réchauffement s'élève à + 4.5 °C à l'échelle de la France, avec de forts contrastes saisonniers : il est légèrement moins marqué en hiver (+ 4 °C) et plus fort en été (+ 6 °C). Les précipitations moyennes diminuent de 9 %. Cette tendance à la baisse résulte d'un fort assèchement en été particulièrement marqué sur la moitié sud, et non compensé par l'augmentation modérée des précipitations en hiver peu significative en dehors du quart nord-est.

Ce narratif, le plus critique vis-à-vis de la ressource en eau, a pour conséquence une baisse généralisée des débits estivaux et des niveaux moyens annuels.

Narratif orange « Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations »

Le réchauffement atteint + 5 °C à l'échelle de la France, avec des contrastes saisonniers marqués : + 4 °C en hiver et + 6.5 °C en été. Les précipitations moyennes diminuent de 8 %. Cette tendance masque de forts contrastes saisonniers, avec un fort assèchement en été particulièrement marqué dans le sud, qui l'emporte sur l'augmentation des précipitations en hiver concernant principalement la moitié nord.

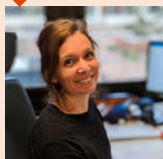
Ce narratif a pour conséquence une baisse généralisée des débits estivaux plus marquée dans le sud de la France. Les aquifères de Normandie et de Bretagne affichent des niveaux moyens annuels à la baisse. Ailleurs, ils sont à la hausse.



Carte des zones les plus sensibles aux impacts du changement climatique sous scénario de forte émissions de gaz à effet de serre en fin de siècle

LES ACQUIS DU PROJET EXPLORE2

À partir de simulations numériques effectuées à l'aide de modèles hydrologiques et hydrogéologiques, les scientifiques du projet Explore2 ont produit un ensemble de projections décrivant l'état climatique et celui de la ressource en eau pour le XXI^e siècle à l'échelle de la France hexagonale au regard de trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Ces projections hydroclimatiques nationales ont vocation à être mobilisées pour



Claire Magand
Chargée de mission
"recherche", Office
français de la
biodiversité (OFB)



Après le financement du retour d'expérience d'Explore2070 par l'OFB, nous avons construit le projet Explore2 avec le ministère chargé de l'environnement. Nous cofinancions la partie scientifique du projet et hébergeons sa page internet officielle. J'ai pour ma part effectué le suivi technique d'Explore 2 et fait le lien entre les résultats et les futurs utilisateurs des données à l'OFB. Les enjeux sur la gestion quantitative de l'eau sont rappelés dans le plan eau du gouvernement et dans les projets de territoire pour la gestion de l'eau sur lesquels l'OFB donne un avis technique éclairé par les résultats d'Explore2. Explore2 pourrait également nous permettre de vérifier que les solutions d'adaptation fondées sur la nature du projet LIFE intégré ARTISAN sont correctement calibrées. Les animateurs du réseau ARTISAN et mes collègues en délégation régionale participent ainsi au comité d'utilisateurs où ils ont pu faire part de leurs demandes. Nous préparons également des projets de recherche qui utiliseront les données d'Explore2.

initier des démarches prospectives à l'échelle des territoires sur les usages de l'eau et les conditions d'une gestion durable.

Ces projections peuvent se résumer en cinq points clés :

- Les effets du changement climatique seront d'autant plus sévères que les émissions de gaz à effet de serre seront importantes.
- La gestion de l'eau d'hier et celle de demain seront nécessairement différentes pour s'adapter au changement des régimes hydrologiques.
- Selon les projections d'Explore2, le changement climatique conduira à une intensification de divers événements extrêmes sur les domaines modélisés.
- Selon les projections d'Explore2, l'évolution possible des débits de crue est incertaine. Cependant, il faut noter que selon les travaux synthétisés dans les rapports successifs du GIEC, les scientifiques s'attendent, pour beaucoup de régions du monde, à une intensification des extrêmes pluviométriques et à une augmentation de l'intensité des crues. Les modèles climatiques utilisés pour Explore2 ne donnent qu'une estimation très imparfaite des changements possibles pour les pluies fortes en France hexagonale, d'où l'incertitude qui en résulte pour partie sur les simulations des débits de crue.
- Les modèles appliqués dans le cadre du projet Explore2 le sont dans leur forme la plus aboutie. Ils sont néanmoins perfectibles. De nombreux verrous scientifiques restent par exemple à lever pour réduire l'incertitude sur le climat et l'hydrologie (intégration des phénomènes de convection dans les projections climatiques, effet de la hausse de la concentration en CO² et ses répercussions sur l'évaluation de l'évapotranspiration réelle (ETR), identification et prise en compte des échanges nappe-rivière actifs, représentation de la dynamique du manteau neigeux et des glaciers...) et pour progresser, notamment sur la résolution spatiale et temporelle des simulations.

À terme, les modèles doivent également prendre en compte les actions anthropiques pour intégrer des scénarios de gestion et d'usage de l'eau et représenter le cycle de l'eau altéré par les actions humaines. Les recherches se poursuivent autour de la qualité de l'eau, la thermie en rivière et les impacts sur les milieux, pour leur intégration dans les modèles et un déploiement à l'échelle nationale. Les progrès de modélisation bénéficieront à une prochaine étude d'impact, elle-même coordonnée avec les futures publications du GIEC.

UN PROJET QUI OUVRE DES PERSPECTIVES

Quatre ans de dialogue entre le consortium scientifique et les gestionnaires de l'eau - futurs utilisateurs des résultats du projet Explore2 - auront permis d'évaluer l'impact du changement climatique sur la ressource en eau sur l'ensemble du XXI^e siècle et de produire, à la fois des données de haute résolution (débit, recharge, niveaux des nappes) et des projections mobilisables pour éclairer les usages de l'eau à l'échelle de territoires. Les données et le savoir-faire acquis pendant le projet vont permettre aux scientifiques de poursuivre leur appui aux politiques publiques (notamment la planification écologique), que ce soit dans le domaine de l'eau, avec en particulier les Agences de l'eau, ou plus largement au niveau du fonctionnement d'un territoire, avec par exemple la plateforme de modélisation MAELIA (<https://www.maelia-iam.fr/>).

Sur le plan de la recherche, un retour d'expérience sur le projet mené par le consortium a permis d'identifier les verrous scientifiques et de nouvelles perspectives de recherche concernant l'impact des changements climatiques sur la ressource en eau qui nourriront les réflexions des agences de programme sur les sujets de l'adaptation et de l'atténuation. De plus, les scientifiques du projet proposent de pérenniser le consortium pour se préparer à un projet Explore3 basé sur de futures projections climatiques ■

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce dossier.

Et en particulier, les commanditaires, utilisateurs et utilisatrices qui témoignent dans ce dossier : Maud BEREL (MTECT), Mireille Brun (CRA de Provence), Olivier Canlers (DREAL Hauts-de-France), Claire MAGAND (OFB), Najib Mahfoudhi (MTECT), et Anne Pressurot (AERMC)

L'ensemble des contributeurs et contributrices scientifiques : Ryma AISSAT (BRGM), Nadia AMRAOUI (BRGM), Patrick ARNAUD (INRAE), Maud BEREL (MTE), Sébastien BERNUS (Météo-France), Jérémie BONNEAU (INRAE), Flora BRANGER (INRAE), Yvan CABALLERO (BRGM), François COLLEONI (INRAE), Lila COLLET (EDF), Lola CORRE (Météo-France), Agathe DROUIN (Météo-France), Agnès DUCHARNE (Sorbonne Université), Guillaume EVIN (INRAE), Joël GAILHARD (EDF), Florence HABETS (ENS), Frédéric HENDRICKX (EDF), Louis HERAUT (INRAE), Benoît HINGRAY (IGE), Peng HUANG (Sorbonne Université), Tristan JAOUEN (INRAE), Alexis JEANTET (Météo-France), Sandra LANINI (BRGM), Matthieu LE LAY (EDF), Claire MAGAND (OFB), Paula MARSON (Météo-France), Samuel MERTZ (BRGM), Louise MIMÉAU (INRAE), Céline MONTEIL (EDF), Simon MUNIER (Météo-France), Charles PERRIN (INRAE), Alix REVERDY (IGE), Lucia RINCHIUSO (Sorbonne Université), Olivier ROBÉLIN (INRAE), Yoann ROBIN (LSCE), Fabienne ROUSSET (Météo-France), Raphaëlle SAMACOÏTS (Météo-France), Eric SAUQUET (INRAE), Jean-Michel SOUBEYROUX (Météo-France), Laurent STROHMENGER (INRAE), Soulivanh THAO (LSCE), Guillaume THIREL (INRAE), Flore TOCQUER (Météo-France), Yves TRAMBLAY (IRD), Florent VEILLON (INRAE), Jean-Pierre VERGNES (BRGM), Jean-Philippe VIDAL (INRAE), Mathieu VRAC (LSCE)

Les contributrices du volet « accompagnement » : Audrey BORNANCIN-PLANTIER (OiEau), Natacha JACQUIN (OiEau), Sonia SIAUVE (OiEau)

Les membres des comités des utilisateurs A et B.

L'assistance à maîtrise d'ouvrage : Maïté FOURNIER (ACTeon)



Direction de l'Appui aux Politiques publiques

Centre siège d'Antony

1, rue Pierre Gilles-de-Gennes
92160 Antony

Rejoignez-nous sur :



<https://www.inrae.fr/>

**Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et l'environnement**



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE