

Explore 2070 : quelle utilisation d'un exercice prospectif sur les impacts des changements climatiques à l'échelle nationale pour définir des stratégies d'adaptation ?

Les changements climatiques projetés à l'horizon du milieu du XXI^e siècle pourraient avoir des impacts importants sur la disponibilité en eau en France. L'étude prospective Explore 2070, pilotée par le ministère chargé de l'écologie, a ainsi mis en évidence la nécessité de quantifier et d'anticiper ces changements, et de construire des stratégies d'adaptation pour limiter leurs conséquences négatives sur les hydrosystèmes et les activités humaines. Cet article analyse dans quelle mesure ces travaux ont pu contribuer à la sensibilisation des acteurs de l'eau et à la réflexion sur l'adaptation au changement climatique en France.

Enjeux des prospectives sur les changements climatiques en France

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a adopté en 2015 son cinquième rapport de synthèse : le dérèglement climatique semble incontestable et ses impacts sont déjà observables. Du fait de l'inertie du système climatique, des conséquences potentiellement irréversibles sur les écosystèmes et les sociétés humaines sont à attendre, même dans le cas où des démarches volontaristes d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre seraient rapidement mises en place à l'échelle mondiale. Ainsi, le changement climatique est devenu au cours des dernières années une source de préoccupation majeure pour les décideurs. L'évolution des hydrosystèmes, des écosystèmes, et des activités humaines qui en dépendent, est au cœur de cette préoccupation. Il y a donc aujourd'hui un fort besoin d'appréhender le devenir de la ressource en eau et des risques associés, de quantifier les impacts sur les écosystèmes aquatiques et sur de nombreux secteurs d'activité (alimentation en eau potable, industrie, agriculture, énergie, navigation, etc.) et de définir des stratégies d'adaptation pour réduire et gérer les risques induits par le changement climatique.

La nécessité d'améliorer la connaissance sur les impacts du changement climatique pour définir des stratégies d'adaptation a été identifiée comme un levier d'action

important et a été retenue parmi les mesures du volet « ressource en eau » du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) adopté en juillet 2011. Par ailleurs, la Commission européenne, dans sa communication du 14 novembre 2012, a souligné le défaut d'intégration des enjeux liés au changement climatique dans les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) 2010-2015.

Afin de mieux appréhender cette problématique, le ministère chargé de l'écologie a initié le projet Explore 2070 en 2010. Ce projet comportait deux objectifs principaux : d'une part évaluer les impacts du changement climatique sur les hydrosystèmes et la ressource en eau à échéance 2070 pour la France entière (métropole et département d'outre-mer), et d'autre part élaborer des stratégies possibles d'adaptation.

Ce projet a ainsi fourni une vision nationale des enjeux potentiels liés à l'eau en contexte de changement climatique, avec une volonté d'apporter des éléments de réponse quantitatifs aux interrogations des gestionnaires sur le devenir de la ressource et sur la pertinence des stratégies d'adaptation associées. Achevé en 2012, le projet a produit de nombreux résultats. Quels ont été les impacts de cette démarche nationale dans la communauté des gestionnaires de l'eau ? Quelles sont les pistes pour poursuivre la sensibilisation des acteurs sur la base de cet exercice ?

Dans ce qui suit, après avoir rappelé le contexte dans lequel a été initié ce projet et les principaux aspects de la démarche, nous donnons quelques exemples d'utilisation de ses résultats et discutons des possibles suites de cet exercice prospectif.

Études d'impact des changements climatiques dans le domaine de l'eau

La question des impacts des changements climatiques n'est pas nouvelle. Elle anime la communauté scientifique internationale depuis plusieurs décennies, et a notamment conduit à la création du GIEC en 1988. Ce groupe d'experts a produit dès 1990 un premier rapport de synthèse alertant sur les conséquences possibles de l'augmentation continue des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère due aux activités humaines. Vingt-cinq ans plus tard, le constat initial reste inchangé sur le fond, mais une masse considérable de travaux ont été réalisés, avec aujourd'hui une meilleure compréhension des dynamiques associées à ces changements.

En France comme dans d'autres pays, les climatologues ont produit des simulations climatiques quantifiant les évolutions possibles du climat, utilisées ensuite pour évaluer les impacts futurs sur différents domaines. Dans le domaine de l'eau, de nombreuses études d'impacts ont été menées depuis une quinzaine d'années à l'échelle

de grands bassins (Rhône, Seine, Garonne, Loire, Rhin, Durance, etc.), dans le cadre de différents projets de recherche soutenus en particulier par le ministère chargé de l'écologie (programme « Gestion et impacts du changement climatique » – GICC – lancé en 1999¹) et par les agences de l'eau (voir les exemples dans le tableau 1). De manière assez cohérente, la plupart de ces projets ont montré des tendances à la baisse de la ressource en eau et une sévérité accrue des étiages, sous l'effet notamment d'une hausse de l'évapotranspiration liée à l'augmentation des températures. En 2007, un premier travail réalisé à l'échelle nationale donnait une vision générale des impacts possibles des changements climatiques sur les eaux de surface, confirmant les résultats trouvés à l'échelle des grands bassins (Boé, 2007).

Ces différents travaux ont contribué à une prise de conscience progressive des enjeux liés aux changements climatiques sur les hydrosystèmes français et ont conduit le ministère chargé de l'écologie à anticiper ses impacts potentiels à moyen terme sur le pays. L'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), point focal du GIEC en France, a donc constitué un groupe interministériel intitulé « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France ». Ses conclusions indiquent que les coûts annuels

1. <http://www.gip-ecofor.org/gicc/>

1 Exemples d'études prospectives sur les impacts des changements climatiques sur l'hydrologie de surface.

Étude	Bassin versant ou zone d'étude	Objectifs	Référence
R ² D ² -2050 ^a	Durance	Élaborer une vision prospective de la gestion de l'eau intégrant le changement global	Sauquet et al. (2014)
IMAGINE 2030 ^b	Garonne	Examiner l'évolution des étiages à l'horizon 2030 sous contrainte de changement climatique et d'activités humaines	Sauquet et al. (2010)
Garonne 2050 ^c	Garonne	Évaluer de manière prospective les besoins et les ressources en eau futurs	Agence de l'eau Adour-Garonne (2014)
ICC-HYDROQUAL ^d	Loire	Évaluer d'impact du changement climatique sur l'hydrologie, le régime thermique, et la qualité des eaux	Moatar et al. (2010)
RheinBlick 2050 ^e	Rhin	Évaluer les impacts futurs des changements climatiques sur les eaux de surface	Görgen et al. (2010)
GICC-Rhône ^f	Rhône	Évaluer les impacts futurs des changements climatiques sur l'hydrologie de surface	Leblois (2002)
RExHySS ^g	Seine et Somme	Évaluer les impacts futurs du changement climatique sur les ressources en eau et les extrêmes hydrologiques	Ducharne et al. (2011) ; Habets et al. (2013)
Climaware ^h	Seine	Définir des stratégies d'adaptation dans différents secteurs de gestion de l'eau	Dorchies et al. (2014)
Climsec ⁱ	France	Étudier l'évolution passée et future des réserves d'eau des sols	Vidal et al. (2012)

a. <https://r2d2-2050.cemagref.fr/>

b. <http://www.irstea.fr/la-recherche/unites-de-recherche/hhly/hydrologie-des-bassins-versants/projet-imagine2030>

c. <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/grands-dossiers/la-garonne-2050.html>

d. <http://projets.plan-loire.fr/31839/21?plateforme=tout>

e. <http://www.chr-khr.org/en/project/impact-regional-climate-change-discharge-rhine-river-basin-rheinblick2050>

f. <http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/133>

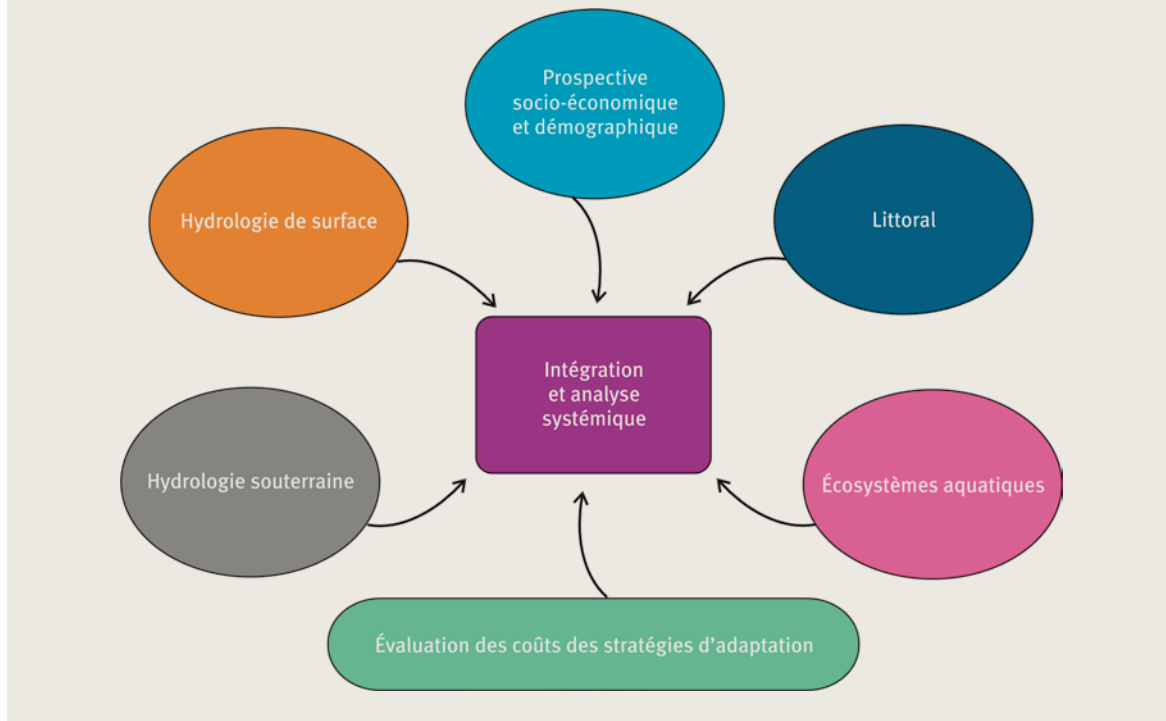
g. <http://www.metis.upmc.fr/piren/?q=event/1185>

h. <http://www.uni-kassel.de/fb14/wasserbau/CLIMAWARE/home/home.html>

i. <http://www.cnrm-game-meteo.fr/spip.php?article605>

1 Structuration du projet Explore 2070

(source : MEDDE, 2013 : <http://www.gesteau.fr/document/bilan-du-projet-explore-2070-eau-et-changement-climatique>).



liés aux changements climatiques pourraient atteindre plusieurs milliards d'euros par an si aucune mesure d'adaptation ne venait à être prise. Sur cette base, une vaste concertation nationale a permis d'élaborer le PNACC et d'identifier un besoin de connaissances approfondies.

Le projet Explore 2070, ses fondamentaux et principaux résultats

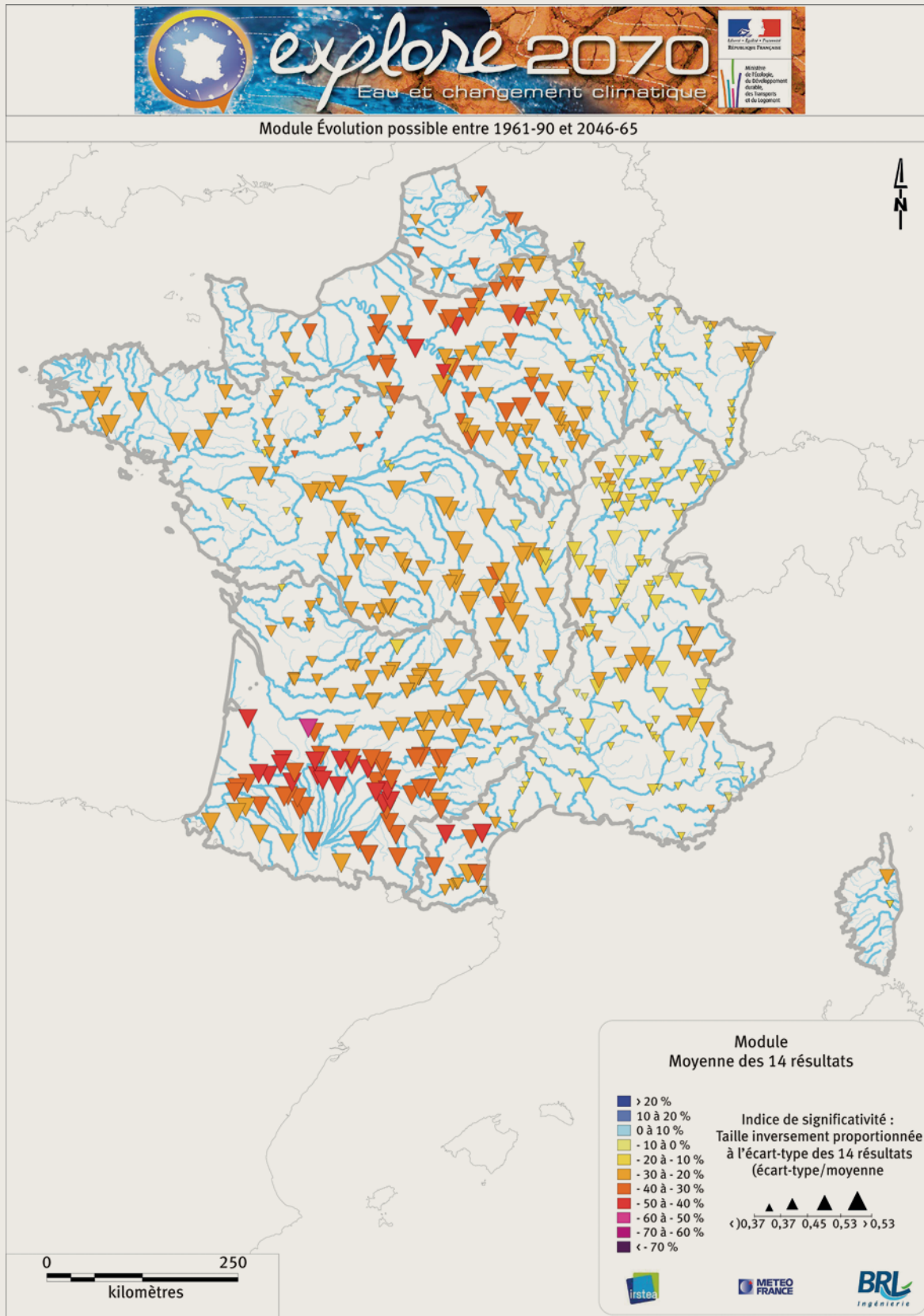
Pour répondre à ce besoin de mieux évaluer les impacts possibles à l'échelle du territoire, le ministère chargé de l'écologie a lancé en 2010 le projet Explore 2070, une large étude prospective regroupant de nombreux acteurs scientifiques et techniques du domaine de l'eau et des sciences sociales. Du fait de la complexité du sujet, le projet a été structuré en sept lots de travail (figure 1) :

- quatre lots thématiques se sont intéressés à l'évaluation des impacts physiques des changements climatiques sur différents domaines, à savoir les rivières (hydrologie de surface, impliquant les auteurs de cet article), les nappes (eaux souterraines), le littoral et la biodiversité (écosystèmes aquatiques). Le lot « Hydrologie de surface » intègre également la fourniture de simulations climatiques, utilisées comme entrées des lots thématiques ;
- un lot a réalisé un travail spécifique sur les scénarios d'évolutions démographique et socio-économique ;
- enfin, deux lots ont été dédiés au second volet de l'étude sur les stratégies d'adaptation, avec pour mission d'intégrer toutes les données produites par le projet dans un modèle systémique et de tester différentes stratégies possibles d'adaptation au changement climatique.

Les lots thématiques ont mis en place des outils de modélisation plus ou moins complexes, permettant d'évaluer le devenir des systèmes sous contraintes d'évolution climatique. Une attention particulière a été portée à la quantification des incertitudes, en utilisant des ensembles de modèles, hypothèses ou simulations. Typiquement, des simulations climatiques produites par sept modèles de climat ont été utilisées, de manière à rendre compte des incertitudes associées à la modélisation de l'atmosphère, et deux modèles hydrologiques de conceptions très différentes pour rendre compte de celles associées à la modélisation de la ressource superficielle en eau. À titre d'exemple de résultats produits par ces lots thématiques, la figure 2 montre que les débits moyens en France risquent de connaître des baisses marquées d'ici le milieu de siècle, pouvant aller de 10 à 40 % sur les différents cours d'eau. Malgré leurs incertitudes, ces chiffres sont extrêmement alarmants, notamment pour les bassins où il existe déjà des tensions sur la ressource. L'approche prospective sur les volets socio-économique et démographique à l'échelle du territoire a permis d'estimer les prélèvements en eau futurs pour différents acteurs économiques (ménages et assimilés, énergie nucléaire, industrie et agriculture) dans deux scénarios tendanciels (un scénario de densification de l'habitat, et un scénario d'étalement de l'habitat) à l'horizon 2070.

L'élaboration et l'évaluation de stratégies d'adaptation ont constitué une étape essentielle du projet Explore 2070. Un groupe de travail national a été constitué afin de définir les stratégies devant être testées au niveau national. Ce groupe a exprimé le besoin de tester des stratégies contrastées afin d'en tirer des messages clairs

② Évolution relative du débit moyen en France entre 1961-1990 et 2046-2065 sur un échantillon de 543 bassins versants (source : Chauveau et al., 2013).



► en termes de priorités d'adaptation pour les prochaines décennies. Il a également signalé que certaines mesures dépendaient directement d'évolutions de politiques nationales telles que la politique énergétique ou la politique agricole. En appui de cette démarche, trois stratégies d'adaptation contrastées ont été élaborées : une stratégie visant à la sobriété des usages de l'eau, une stratégie intermédiaire, et une stratégie d'augmentation des besoins en eau.

Pour réaliser une confrontation entre l'offre et la demande en eau sur la base des scénarios choisis, un modèle systémique a été construit pour la France métropolitaine, à partir d'un découpage en une centaine de bassins versants. Ce modèle était basé à la fois sur les simulations produites au niveau de l'hydrologie de surface et de l'hydrologie souterraine permettant d'avoir une estimation de l'évolution de la disponibilité en eau, et sur la traduction des scénarios prospectifs en termes de demande en eau. À partir de cela, les trois stratégies contrastées d'adaptation ont été testées.

Les résultats des simulations réalisées montrent qu'aucune des trois stratégies d'adaptation ne parvient à contrebalancer totalement les impacts négatifs du changement climatique sur la disponibilité de la ressource en eau, c'est-à-dire à maintenir une situation, du point de vue quantitatif, comparable à la situation actuelle. Ainsi, la maîtrise des déficits en eau à échéance du milieu de siècle ne pourra se contenter de mesures de court terme, mais nécessitera des efforts importants d'optimisation et de rationalisation des usages de l'eau. Cette perspective s'accompagne de forts enjeux sectoriels, en particulier pour l'énergie et l'agriculture.

Le projet a aussi montré son intérêt par sa capacité à décloisonner la réflexion sur l'adaptation, d'une part en dépassant les analyses sectorielles, d'autre part en la portant du monde des scientifiques vers celui des gestionnaires et des décideurs à l'échelle nationale.

Quelle appropriation par les gestionnaires de l'eau ?

L'intérêt de la communauté des gestionnaires de l'eau vis-à-vis d'Explore 2070 a été réel pendant le projet, avec des ateliers qui ont permis de collecter les avis d'observateurs extérieurs, qu'ils soient des agences de l'eau, des directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), des établissements publics territoriaux de bassin (EPTB), ou des organismes travaillant directement sur le changement climatique comme l'ONERC. Le colloque de restitution qui s'est tenu le 24 mai 2013 au ministère chargé de l'écologie a également connu une forte audience. Au-delà des questions techniques parfois soulevées sur la validité des procédures de modélisation et d'intégration développées dans le cadre du projet et sur les hypothèses faites, une préoccupation souvent exprimée a été celle des échelles de définition des stratégies d'adaptation, l'échelle nationale étant souvent délicate à décliner à une échelle plus locale, du fait des spécificités des territoires, des particularités des contextes hydroclimatiques et de la diversité des acteurs de l'eau.

Bientôt quatre ans après la fin du projet, on peut penser qu'Explore 2070 a effectivement contribué à faire avancer la réflexion en France sur les questions d'adaptation au changement climatique. La démarche a notamment permis de compléter celles en cours d'acteurs à l'échelle de grands bassins, comme l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (encadré 1), en fournissant à la fois une référence homogène nationale et en fournissant des éléments sur la quantification des incertitudes. Le plan de bassin d'adaptation au changement climatique s'appuie ainsi sur une volonté forte des responsables des territoires, sur des outils de planification tels que le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) et le schéma régional de cohérence écologique (SRCE), sur une synthèse des connaissances scientifiques coordonnée par un membre du GIEC, et sur le concept de vulnérabilité des territoires pour proposer un ensemble de mesures aux gestionnaires des territoires.

Ce concept de vulnérabilité s'est appuyé à la fois sur les résultats des modèles scientifiques sur l'évolution climatique et sur la sensibilité actuelle des territoires à cinq grands types d'enjeux dont la disponibilité en eau, l'enneigement et le bilan hydrique des sols. Trois axes majeurs ont ainsi été dégagés : retenir l'eau dans les territoires, chasser le gaspillage d'ici 2030, et redonner un espace de bon fonctionnement aux rivières². Un colloque s'est tenu à Lyon pour permettre aux gestionnaires des territoires de partager leurs pratiques en matière d'adaptation, illustrant ainsi la mise en œuvre du plan de bassin. Le bassin Adour Garonne dispose quant à lui d'un exercice prospectif spécifique, Garonne 2050³, qui lui aussi s'appuie en partie sur les données d'Explore 2070. La particularité de ce projet a consisté en la co-construction de scénarii avec les parties prenantes, associant ainsi connaissances et concertation pour un diagnostic partagé en vue d'orientations stratégiques d'adaptation. La valorisation a donné lieu à un séminaire

1 DEUX QUESTIONS POSÉES À THOMAS PELTE...

Deux questions posées à Thomas Pelte, expert outils et prospectives à l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.

Quels ont été les apports du projet Explore 2070 au niveau du bassin ?

L'intérêt majeur du projet a été de fournir des données sur les impacts du changement climatique sur la ressource en eau de façon homogène sur l'ensemble du territoire, même si des études existaient déjà localement. L'avantage des données hydrologiques du projet est d'être basées sur un ensemble de projections climatiques, et à ce titre de pouvoir représenter simplement l'incertitude scientifique liée aux modèles par des fourchettes de valeurs plutôt que par un résultat unique.

L'adaptation au changement climatique était-elle déjà un sujet abordé dans le bassin avant la démarche Explore 2070 ?

Une démarche de plan de bassin d'adaptation avait déjà été initiée, et s'orientait vers un bilan des connaissances scientifique complété d'un catalogue de mesures d'adaptation. Explore 2070 a permis de compléter la démarche en fournissant les données nécessaires à l'établissement de cartes de vulnérabilités, qui constituent aujourd'hui un élément charnière du plan de bassin.

2. <http://www.eaurmc.fr/climat.html>

3. <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/grands-dossiers/la-garonne-2050.html>

à Bordeaux permettant de mettre en avant les questions soulevées par les impacts attendus du changement climatique et des changements globaux. Les résultats du projet Explore 2070 ont également été exploités dans la définition d'une stratégie d'adaptation au niveau du bassin Seine-Normandie (adoptée en 2016), ainsi que dans la révision des SDAGE sur les grands bassins versants français, en fournissant aux gestionnaires des éléments quantitatifs sur les évolutions futures leur permettant de sensibiliser les occupants et décideurs du territoire aux changements climatiques.

À l'échelle nationale, le projet s'inscrivait comme l'une des actions du PNACC. Il constitue une part importante de l'amélioration des connaissances sur le volet eau de l'adaptation au changement climatique en France. D'autres initiatives complètent la démarche nationale d'adaptation au changement climatique, tous thèmes confondus, telles que la plateforme Wiklimat, qui recense les initiatives sur l'adaptation au changement climatique ou encore les rapports annuels de la mission Jouzel coordonnés par l'ONERC dans le cadre du PNACC (encadré 2).

Conclusions

Par sa dimension, ses objectifs et les moyens mis en œuvre, Explore 2070 a constitué un exercice hors norme de prospective sur les impacts des changements climatiques dans le domaine de l'eau à l'échelle nationale. Sur les impacts, le constat est alarmant sur les tendances à l'horizon du milieu de siècle, avec notamment une augmentation généralisée des températures sur le territoire métropolitain, une diminution forte de la ressource en eau (de surface et souterraine), ou encore un retrait du trait de côte lié à l'augmentation du niveau marin et une perte de biodiversité aquatique, comme l'ont montré les résultats des différents lots du projet.

Les conséquences sur les usages de l'eau seront inévitablement nombreuses et fortes. Les scénarios d'adaptation envisagés pour faire face à ces évolutions et à divers scénarios d'évolution de la demande montrent toute la difficulté qu'il y aura à assurer une correspondance satisfaisante entre offre et demande à l'avenir. Malgré les limites liées à la difficulté scientifique et technique de traiter un sujet éminemment complexe à une échelle large, Explore 2070 apparaît à bien des égards complémentaire d'actions de prospective menées localement, notamment en fournissant un cadre homogène national de traitement et d'hypothèses. À ce titre, ses résultats ont contribué à alimenter des réflexions de révision de SDAGE sur les questions d'adaptation. Le projet a par ailleurs permis de mieux mesurer l'ampleur du défi de définir des stratégies nationales d'adaptation, avec des liens complexes à de nombreux secteurs d'activité (énergie et agriculture notamment).

La définition de stratégies d'adaptation ne s'arrête évidemment pas à Explore 2070 et l'effort va devoir être poursuivi, pour mieux cerner les évolutions nécessaires dans les politiques d'aménagement et de divers secteurs d'activité pour mieux répondre aux enjeux de demain. Cela passe notamment par la plus large diffusion des résultats du projet auprès des acteurs de l'eau, qui initiera très certainement d'autres démarches pour trouver des solutions d'adaptation. Des projets de

2 DEUX QUESTIONS POSÉES À NICOLAS BÉRIOT...

Deux questions posées à Nicolas Bériot, ONERC, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique.

Quels ont été les apports du projet Explore 2070 à la réflexion nationale sur l'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau ?

L'adaptation est une démarche relativement jeune, c'est pourquoi il y a un besoin d'apporter de l'information scientifique en premier lieu. Le projet Explore 2070 a fourni des données de base en hydrologie dont la force réside en la convergence des différents modèles utilisés : globalement des tendances à la baisse des ressources disponibles sont un résultat cohérent malgré la diversité des modèles utilisés. Les enseignements n'en sont que plus explicites et permettent aux acteurs de se projeter plus facilement. En tant qu'interface science politique, l'ONERC a été particulièrement intéressé par ce projet. Les données issues d'Explore 2070 sont d'ailleurs réutilisées dans des documents nationaux de communication tel que Repères, une édition 2015 des chiffres clés du climat en France et dans le monde.

Quelles suites peut-on attendre du projet ?

La démarche nationale d'adaptation au changement climatique qui prendra la suite du PNACC doit désormais pouvoir s'appuyer sur des connaissances de plus en plus abondantes et de qualité pour faire prendre corps à l'adaptation. Les actions du PNACC, dont Explore 2070, ont alimenté la communauté en connaissance sur les impacts du changement climatique. Ces données permettent de nourrir le processus d'adaptation non seulement pour le domaine de l'eau mais aussi pour les autres grands thèmes liés à l'eau tels que l'énergie, l'agriculture, la biodiversité...

recherche s'intéressent de plus en plus à ces questions, par exemple récemment dans le cas de la gestion du système Durance-Verdon (projet R²D² 2050) ou celui de la gestion des lacs-réservoirs du bassin de la Seine (projet Climaware). De telles études permettent de définir à minima des mesures sans regret dans un contexte fortement incertain. ■

Les auteurs

Aurélien CARROGET

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer,
Direction de l'Eau et de la Biodiversité,
F-92055 Paris-La-Défense Cedex, France
✉ aurelie.carroget@developpement-durable.gouv.fr

Charles PERRIN

Irstea, UR HBAN, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes,
CS 10030, F-92761 Antony Cedex, France.
✉ charles.perrin@irstea.fr

Éric SAUQUET et Jean-Philippe VIDAL

Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne,
F-69616 Villeurbanne, France.
✉ eric.sauquet@irstea.fr
✉ jean-philippe.vidal@irstea.fr

Sébastien CHAZOT et Mathilde CHAUVEAU

BRL Ingénierie, 1105 Avenue Pierre Mendès-France,
F-30000 Nîmes, France.
✉ sebastien.chazot@brl.fr
✉ mathilde.chauveau@brl.fr

Nathalie ROUCHY

Météo-France, 42 avenue Gaspard Coriolis
BP 45712, F-31057 Toulouse Cedex 1
✉ nathalie.rouchy@meteo.fr





EN SAVOIR PLUS...

Références bibliographiques

- AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE, 2014, *Garonne 2050 - Étude prospective sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du bassin Garonne en 2050*, Agence de l'Eau Adour-Garonne.
- BOÉ, J., 2007, *Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France*, thèse de Doctorat, Cerfacs, Université de Toulouse III Paul Sabatier.
- CHAUVEAU, M., CHAZOT, S., PERRIN, C., BOURGIN, P.-Y., SAUQUET, E., VIDAL, J.-P., ROUCHY, N., MARTIN, E., DAVID, J., NOROTTE, T., MAUGIS, P., DE LACAZE, X., 2013, Quels impacts des changements climatiques sur les eaux de surface en France à l'horizon 2070 ? (What will be the impacts of climate change on surface hydrology in France by 2070?), *Houille Blanche-Revue internationale de l'eau*, p. 5-15, <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/2013027>
- DORCHIES, D., THIREL, G., JAY-ALLEMAND, M., CHAUVEAU, M., DEHAY, F., BOURGIN, P.-Y., PERRIN, C., JOST, C., RIZZOLI, J.-L., DEMERLIAC, S., THÉPOT, R., 2014, Climate change impacts on multi-objective reservoir management: case study on the Seine River basin, France, *International Journal of River Basin Management*, n° 12, p. 265-283.
- DUCHARNE, A., SAUQUET, É., HABETS, F., DÉQUÉ, M., GASCOIN, S., HACHOUR, A., MARTIN, E., PAGÉ, C., TERRAY, L., THIÉRY, D., VIENNOT, P., 2011, Évolution potentielle du régime des crues de la Seine sous changement climatique, *La Houille Blanche*, p. 51-57.
- GÖRGEN, K., BEERSMA, J., BUITEVELD, H., BRAHMER, G., CARAMBIA, M., DE KEIZER, O., KRAHE, P., NILSON, E., LAMMERSEN, R., PERRIN, C., VOLKEN, D., 2010, *Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 project*, Lelystad: International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin.
- HABETS, F., BOÉ, J., DÉQUÉ, M., DUCHARNE, A., GASCOIN, S., HACHOUR, A., MARTIN, E., PAGÉ, C., SAUQUET, E., TERRAY, L., THIÉRY, D., OUDIN, L., VIENNOT, P., 2013, Impact of climate change on the hydrogeology of two basins in northern France, *Climatic Change*, n° 121, p. 771-785.
- LEBLOIS, E., 2002, Evaluation of the possible impacts of climatic change by distributed models (Gewex- Rhone et Gicc-Rhone projects), *Houille Blanche-Revue internationale de l'eau*, p. 78-83.
- MOATAR, F., DUCHARNE, A., THIÉRY, D., BUSTILLO, V., SAUQUET, É., VIDAL, J.-P., 2010, La Loire à l'épreuve du changement climatique, *Géosciences*, n° 12, p. 79-87.
- SAUQUET, E., ARAMA, Y., BLANC COUTAGNE, E., BOUSCASSE, H., BRANGER, F., BRAUD, I., BRUN, J.-F., CHEREL, J., CIPRIANI, T., DATRY, T., DUCHARNE, A., HENDRICKX, F., HINGRAY, B., KROWICKI, F., LE GOFF, I., LE LAY, M., MAGAND, C., MALERBE, F., MATHEVET, T., MONTEIL, C., PERRIN, C., POULHE, P., ROSSI, A., SAMIE, R., STROSSER, P., THIREL, G., TILMANT, F., VIDAL, J.-P., 2015, *Projet R²D² 2050 – Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050*, MEDDE, Rapport final, convention 10-GCMOT-GICC-3-CVS-102, 2015, <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00044634>.
- SAUQUET, E., DUPEYRAT, A., HENDRICKX, F., PERRIN, C., SAMIE, R., VIDAL, J.-P., 2010, *IMAGINE 2030, climat et aménagements de la Garonne : quelles incertitudes sur la ressource en eau en 2030 ?*, Rapport final, Programme RDT, <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00028876>
- VIDAL, J. P., MARTIN, E., KITOVA, N., NAJAC, J., SOUBEYROUX, J.-M., 2012, Evolution of spatio-temporal drought characteristics: validation, projections and effect of adaptation scenarios, *Hydrology and Earth System Sciences*, n° 16, p. 2935-2955.

Sites Internet

- Rapports finaux du rapport Explore 2070 : <http://www.gesteau.fr/document/bilan-du-projet-explore-2070-eau-et-changement-climatique>
- Plateforme Wiklimat : <http://wiklimat.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Wiklimat:Accueil>
- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique>
- Site du GIEC : <http://www.ipcc.ch/s>



En France, les changements climatiques projetés à l'horizon du milieu du XXI^e siècle pourraient avoir des impacts importants sur la disponibilité en eau.