



HAL
open science

Vers l'élaboration de nouvelles projections hydro-climatiques pour les stratégies d'adaptation au niveau des bassins versants français

Eric Sauquet, Timothée Chatel, Eric Martin

► To cite this version:

Eric Sauquet, Timothée Chatel, Eric Martin. Vers l'élaboration de nouvelles projections hydro-climatiques pour les stratégies d'adaptation au niveau des bassins versants français. [Rapport de recherche] Inrae; Irstea. 2019. hal-02930768

HAL Id: hal-02930768

<https://hal.science/hal-02930768>

Submitted on 4 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Programme 2019/2021 – Thème Gestion équilibrée de la ressource - Action n°7



Vers l'élaboration de nouvelles projections hydro-climatiques pour les stratégies d'adaptation au niveau des bassins versants français

Rapport final

**Eric SAUQUET (Irstea)
Timothée CHATEL(Irstea)
Eric MARTIN (Irstea)**

Décembre 2019

- **AUTEURS**

Eric SAUQUET, Directeur de recherche (Irstea/INRAE), eric.sauquet@inrae.fr

Timothée CHATEL, Ingénieur d'étude (Irstea)

Eric MARTIN, IGPEF (Irstea/INRAE), eric.martin.aix@inrae.fr

- **CORRESPONDANTS**

AFB/OFB : Claire MAGAND, DRED/DRDI, claire.magand@ofb.gouv.fr

Partenaire : Maud BEREL, Chargée de mission changement climatique (MTES/DGALN/DEB/ATAP1), maud.berel@developpement-durable.gouv.fr

- **AUTRES CONTRIBUTEURS**

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : national

Couverture géographique : France

Niveau de lecture : professionnels



- **RESUME**

Ce rapport s'inscrit dans une volonté d'actualiser les projections hydro-climatiques, élaborées dans le cadre de l'étude Explore2070, première étude nationale prospective sur l'eau. Il s'agit ici :

- De dresser un bilan quantitatif et qualitatif de la partie d'Explore2070 concernant le climat et l'hydrologie à partir d'entretiens réalisés auprès d'un échantillon d'acteurs et des résultats d'un sondage en ligne transmis à une communauté élargie d'acteurs ;
- D'identifier des besoins émergents en matière de climat et d'hydrologie des acteurs ;
- De faire un état des lieux des nouvelles possibilités offertes par la communauté scientifique ;
- D'examiner les expériences similaires en Europe et les services climatiques mettant à disposition les informations utiles pour la mise en œuvre de stratégies d'adaptation ;
- De croiser besoins des acteurs et opportunités scientifiques ;

pour esquisser les contours d'un futur projet d'actualisation.

- **MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE) : CHANGEMENT CLIMATIQUE, PROSPECTIVE, PROJECTIONS HYDRO-CLIMATIQUES REGIONALISEES, MULTI-MODELE, FRANCE**



- **BUILDING UP-TO-DATE HYDRO-CLIMATIC PROJECTIONS FOR PREPARING ADAPTATION STRATEGIES IN FRANCE**

- **ABSTRACT**

This report is part of an effort to update the hydro-climatic projections developed as part of the Explore2070 study, the first national prospective study on water. The objectives are:

- To make an assessment of the part of the Explore2070 study concerning climate and hydrology based on interviews conducted with a sample of stakeholders and the results of an online survey diffused to a wider community of stakeholders;
- To identify the emerging needs of stakeholders in terms of climate and hydrology;
- To inventory opportunities offered by the scientific community;
- To analyse similar experiences in Europe and actual climate services developed to support adaptation strategies;
- To match stakeholder needs and opportunities;

in order to sketch the outlines of a future updating project.

- **KEY WORDS (THEMATIC AND GEOGRAPHICAL AREA): CLIMATE CHANGE, FRANCE, PROSPECTIVE, REGIONAL HYDRO-CLIMATIC PROJECTIONS, MULTI-MODEL APPROACH,**



- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE** [4 pages maximum]

En 2019, Irstea et l'AFB ont lancé une initiative impliquant gestionnaires de l'eau et scientifiques visant à terme la fourniture des projections hydro-climatiques pour la mise en œuvre de stratégies d'adaptation au changement climatique. L'objectif est de soutenir un projet ambitieux similaire aux volets « Hydrologie de surface » et « Hydrologie souterraine » d'Explore2070 sur des bases scientifiques renouvelées, en collaboration avec d'autres organismes actifs dans le domaine du climat et de l'eau. Les nouvelles simulations qui pourraient émerger d'une actualisation des projections hydro-climatiques produites par Explore2070 (<https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/44>), contribueront au plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) et aux projets de territoire, notamment les PTGE, pour une gestion adaptative et intégrée des bassins versants. Cette ambition est inscrite dans les actions proposées après à la consultation nationale dans le cadre des assises de l'eau : « mettre à disposition des données actualisées de l'étude Explore2070 » (MTES, 2019. Assises de l'eau : un nouveau pacte pour faire face au changement climatique. Ministère de la transition écologique et solidaire. 17 pages).

L'enquête réalisé auprès des acteurs de l'eau montre qu'une actualisation des projections hydro-climatiques élaborées pour l'étude Explore2070 est attendue. La nature, le processus d'élaboration et la communication/diffusion de l'information produite doivent être repensés.

La connaissance a progressé depuis les années 2010 et, avec le recul sur des études d'impact, la communauté scientifique a les moyens de faire mieux que ce qui a été réalisé dans le cadre d'Explore2070. Elle a exprimé son souhait de s'impliquer dans un nouvel exercice de production de données hydro-climatiques pour soutenir la mise en place de stratégies d'adaptation sur les territoires. Les chercheurs partagent l'objectif d'un exercice de modélisation nationalement homogène sur l'ensemble du 21^{ème} siècle en s'appuyant sur les développements les plus récents de la recherche et s'appuyant sur les derniers résultats du GIEC (CMIP5 ou CMIP6 selon le calendrier envisagé par le nouvel exercice).

Cette volonté de traiter l'échelle nationale et la totalité du 21^{ème} siècle ne doit cependant pas interdire des zooms régionaux (pour des raisons sectorielles) avec une fenêtre temporelle restreinte (pour des raisons de capacité de calcul).

Cette volonté étant affirmée, la production de nouvelles données ne sera pas immédiate : un cadre générique doit être construit en concertation au sein de la communauté scientifique. La communauté scientifique doit notamment examiner sa capacité à se saisir des résultats à l'échelle globale de CMIP6 (en cours d'analyse dans la communauté du climat). Elle doit se coordonner pour décider de la place relative des actions humaines sur la ressource dans le processus de modélisation et pour mettre en place des protocoles objectifs de comparaison et de quantification des incertitudes.

L'étude Explore2070 a été la première prospective nationale dans le domaine de l'eau. Elle a eu le mérite d'initier des études régionales mais son utilisation n'a pas été optimale faute de canal de diffusion officiel, pérenne et public, ainsi que par manque de certaines données scientifiques. Reproduire ce qui a été réalisé n'est pas à envisager. Il faut s'appuyer sur l'expérience acquise dans le cadre de développement des services climatiques et les interactions avec les utilisateurs (notamment de Météo-France et l'IPSL avec le portail DRIAS). De nouveaux supports (à destination technique ou de communication) sont à inventer avec des opérateurs proches des territoires pour les accompagner notamment dans l'utilisation en autonomie des données produites et dans l'appréciation des incertitudes. Il faut identifier, associer et structurer au plus tôt la communauté des utilisateurs potentiels et poursuivre la discussion engagée avec les acteurs sur le retour d'expérience.

Les différents enjeux autour d'un nouvel exercice de modélisation seront examinés dans le cadre d'une action de recherche en cours, co-financée par l'OFB et INRAE.

• SOMMAIRE

1.	Introduction.....	8
2.	Le retour d'expérience des acteurs sur l'étude Explore2070	8
3.	Les besoins émergents des acteurs	10
4.	Les expériences internationales.....	10
4.1.	La place des utilisateurs dans l'élaboration des projections climatiques.....	11
4.2.	Des informations ciblées vers une communauté d'utilisateurs.....	12
4.3.	Les supports de diffusion	12
5.	Le contexte scientifique en 2020	13
6.	Conclusion	17
7.	Annexe 1 : Le retour d'expérience des acteurs	19
7.1.	Introduction	19
7.2.	La méthodologie	19
7.2.1.	Les entretiens semi-directifs	19
7.2.2.	Le questionnaire en ligne.....	21
7.3.	Quels bilans du premier exercice de prospective nationale Explore2070, et d'autres prospectives territoriales ?	23
7.3.1.	Les freins aux usages.....	23
7.3.2.	Des lots inégalement valorisés	26
7.3.3.	Le positionnement d'Explore2070 vis-à-vis des services climatiques et des études prospectives sur le ressource en eau	28
7.4.	Dans le cadre d'une nouvelle étude prospective nationale, quels sont les besoins et attentes des gestionnaires ?	29
7.4.1.	Le secteur a-t-il réellement besoin d'une nouvelle étude comme Explore2070 ?	30
7.4.2.	Quelles évolutions de contenu pour une nouvelle étude de type Explore2070 ?	31
7.4.1.	Développer une expertise au service de la « bonne adaptation »	34
7.5.	Guide des entretiens semi-directifs	37
7.6.	Questionnaire en ligne	39
8.	Annexe 2 : Les actions internationales : synthèse et apprentissage	43
8.1.	La jungle internationale : quelle probabilité pour un décideur de trouver une donnée utilisable ?	43
8.1.1.	La descente d'échelle internationale.....	43
8.1.2.	Les services européens sur le climat.....	44
8.1.3.	Une plateforme sectorielle sur l'impact du changement climatique sur l'eau.....	46
8.2.	Le contexte européen des services climatiques et des scénarios climatiques nationaux	47
8.2.1.	Les Pays-Bas	47
8.2.2.	Le Royaume-Uni	49
8.2.3.	La Suisse	54
8.2.1.	Quelques éléments dans d'autres pays européens	56
9.	Bibliographie.....	58
10.	Table des illustrations	61
11.	Remerciements	62

- **VERS L'ÉLABORATION DE NOUVELLES PROJECTIONS HYDRO-CLIMATIQUES POUR LES STRATÉGIES D'ADAPTATION AU NIVEAU DES BASSINS VERSANTS FRANÇAIS**

1. Introduction

L'étude nationale baptisée « Explore2070 » (2010-2013) (<https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/44>) a été une étude pionnière en France engagée par le ministère en charge de l'écologie. Son objectif principal était d'évaluer les impacts possibles des changements climatiques et socio-économiques futurs sur les grandes masses d'eau en France métropolitaine et dans les départements d'Outre-Mer, à l'horizon 2050-2070. Les résultats produits devaient aider les décideurs à mieux concevoir les stratégies d'adaptation nécessaires pour faire face aux impacts négatifs projetés sur la ressource en eau.

En 2019, force est de constater que la pertinence des données produites est questionnée :

- les données climatiques utilisées alors datent du 4^{ème} rapport du GIEC (2007) et le processus de publication du 6^{ème} rapport est engagé avec la diffusion de nouveaux scénarios climatiques disponibles d'ici 2021,
- les besoins des gestionnaires, l'appropriation de la question de l'impact du changement climatique (notamment vis-à-vis des incertitudes) et les connaissances et les outils de simulation climatiques et hydrologiques ont en parallèle évolué,

et les besoins sont réels pour le déploiement de stratégies d'adaptation des territoires et l'urgence climatique déclarée.

La volonté d'Irstea est de porter, à l'horizon 2020-2021, un projet ambitieux similaire au volet « *Hydrologie de surface* » d'Explore2070 sur des bases renouvelées, en collaboration avec d'autres organismes actifs dans le domaine du climat et de l'hydrologie. Les nouvelles simulations qui pourraient émerger d'une actualisation d'Explore2070, contribueront au plan national d'adaptation au changement climatique, à des études prospectives menées à l'échelle des bassins versants pour une gestion adaptative de la ressource en eau, et à des objectifs de protection de la biodiversité.

L'objectif de cette action cofinancée par l'AFB et soutenue par le MTES est de jeter les bases scientifiques et les attendus opérationnels d'une nouvelle étude d'impact du changement climatique portant sur la ressource naturelle en eau en France en s'appuyant sur un retour d'expérience d'Explore2070 et sur un dialogue entre utilisateurs potentiels et chercheurs impliqués. Il s'agit ici de définir une feuille de route pour l'élaboration de projections hydro-climatiques, ainsi qu'une stratégie d'exploitation de ces données au bénéfice de la communauté nationale. Ce projet comporte quatre volets :

- 1) Retour d'expérience sur l'étude Explore2070 ;
- 2) Recueil des besoins des acteurs ;
- 3) Enseignements des expériences internationales ;
- 4) Esquisse d'un nouveau projet croisant besoins émergents et possibilités offertes par la recherche.

Le rapport est structuré selon ces différents points. Les informations recueillies ici sont la synthèse d'un ensemble d'entretiens semi-directifs auprès d'un échantillon représentatif d'acteurs et de réponses à un questionnaire en ligne élaboré à partir des résultats des entretiens afin d'élargir l'échantillon des personnes interviewées et/ou de confirmer les conclusions tirées des entretiens (Annexe 1 : Le retour d'expérience des acteurs, page 19). Le contexte scientifique se fonde sur les conclusions d'un séminaire scientifique organisé avec des chercheurs français impliqués dans l'hydro-climatologie et l'hydrologie.

2. Le retour d'expérience des acteurs sur l'étude Explore2070

Explore2070 est la première étude prospective nationale sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau. Elle s'est déroulée de juin 2010 à octobre 2012. Elle a été portée par la direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) du ministère en charge de l'écologie avec la participation de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (Onema devenu AFB, puis OFB en 2020), du Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF), des agences de l'eau, des DREALs de bassin, du CGDD (Commissariat Générale au Développement Durable), de la DGEC (Direction Générale de l'Energie et du Climat) et de la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques). Ce projet a rassemblé une centaine d'experts venant d'établissements de recherche et de bureaux d'études spécialisés. « *L'objectif*

du projet « Explore2070 » était, à partir de différents scénarios climatiques, démographiques et socio-économiques, d'élaborer et d'évaluer les stratégies d'adaptation au changement climatique [dans un contexte d'évolution des hydro-systèmes et des milieux côtiers à l'horizon 2050-2070 pour la métropole et les départements d'outre-mer] (MEDDE, n.d.). Le projet a fourni aux territoires, des données sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau pour se saisir de la problématique de l'adaptation. Le projet Explore2070 a été divisé en huit lots explorant différents domaines liés à l'eau (Tableau 1).

Tous les lots ont finalement produit un rapport conformément aux exigences du cahier des charges, seul le rapport du lot 2 n'a pas été publié.

L'enveloppe financière d'Explore2070 était contrainte. Malgré les fortes ambitions de l'étude, l'étude a parfois dû « recycler » des résultats antérieurs, ce qui a conduit à des livrables non optimaux. Explore2070 s'inscrit plus largement dans un ensemble d'études.

Tableau 1 : Descriptif des lots de l'étude Explore2070

Lot 1	AMOA	Assistance à maîtrise d'ouvrage pour le pilotage et la gestion de projet
Lot 2	Approche systémique	Intégration et Analyse systémique – Stratégies d'adaptation (échelle nationale)
Lot 3	Expertise	Hydrologie – Ecoulements de surface (grands bassins versants)
Lot 4	Expertise	Hydrologie – Ressources souterraines et aquifères
Lot 5	Expertise	Biodiversité – Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes
Lot 6	Expertise	Dynamique des systèmes littoraux et des milieux marins côtiers
Lot 7	Expertise	Prospective : scénarios d'évolution démographique et socio-économique
Lot 8	Etude de faisabilité	Evaluation des coûts des stratégies d'adaptation – Analyse sectorielle, thématique, territoriale (échelle régionale ou locale)

Le point fort de l'étude, en dehors d'être la première étude prospective à l'échelle nationale, est le traitement uniforme appliqué sur l'ensemble du territoire quand cela était possible. Cette production a permis pour les acteurs en charge de grands territoires (ex. agences de l'eau) de se baser sur une donnée homogène quand elle était disponible, sans avoir à combiner des exercices issus de modèles, d'hypothèses ou de méthodes différents.

Le choix d'afficher les incertitudes, motivé par les scientifiques, a été accepté, compris et bien apprécié par les acteurs, notamment comme une volonté de transparence sur le niveau de connaissance. Au cours de leurs actions de sensibilisation et de communication, les acteurs ont cherché à conserver les plages de données fournies par les résultats. Faute d'accompagnement, certains acteurs se sont trouvés démunis pour communiquer les incertitudes et les résultats médians ont été diffusés

Le projet a été bien documenté avec des supports diversifiés (fiches synthétiques, rapports, synthèses de 4 pages, et cartes).

L'étude a été valorisée : les deux volets « *Hydrologie de surface* » (Chazot et al., 2012) et « *Hydrologie souterraine* » ont été le support de stratégies locales d'adaptation et d'études prospectives territoriales : Garonne2050 (Agence de l'Eau Adour Garonne, <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/grands-dossiers/la-garonne-2050.html>), caractérisation des vulnérabilités du bassin Rhône-Méditerranée aux incidences du changement climatique dans le domaine de l'eau (<http://www.eaurmc.fr/climat.html>), etc. ou des projets de recherche (ex. GEPET-Eau soutenu par le programme GICC (<http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/553>)).

Cependant, les lots et les supports produits ont été utilisés inégalement pour diverses raisons :

- les résultats des lots consacrés au climat et à l'hydrologie ont été principalement exploités. Ce résultat s'explique en partie par la population sondée (impliquée dans les missions de gestion de l'eau et des milieux aquatiques). Certains volets, pourtant pertinents pour les personnes sondées, n'ont pas été utilisés car les hypothèses ou méthodes utilisées n'ont pas convaincu les potentiels utilisateurs (ex. la prise en compte des prélèvements a nui à l'acceptabilité locale des résultats de l'étude sans consultation des acteurs des territoires).
- le peu de communication et l'absence d'un site internet de référence pérenne ont limité la visibilité de l'étude.
- les supports présentaient des données figées - au format PDF - ce qui rendait l'appropriation des résultats difficiles ; il n'y a pas de base structurée rassemblant toutes les données numériques

- (leur accès était possible après signature de convention avec le MEDDE).
- certaines zones sont orphelines de modélisation : le volet « *Hydrologie– Ressources souterraines et aquifères* » a proposé des résultats hétérogènes (à base d'études de cas) sur le territoire national.
- l'expérience des acteurs au début des années 2010 était encore réduite dans le traitement du changement climatique et dans la prise en compte des incertitudes pour la prise de décision.

3. Les besoins émergents des acteurs

L'enquête auprès des acteurs a montré la nécessité d'engager un nouvel Explore2070. Conscients des évolutions scientifiques depuis 2010, ils ressentent un besoin d'une étude nationale actualisée faisant référence. Le contenu scientifique doit cependant s'adapter aux évolutions des besoins opérationnels et élargir son offre en termes d'indicateurs.

Malgré les réserves exprimées par certains acteurs sur la nécessité d'une actualisation, ils expriment tous la nécessité de faire évoluer cette thématique en intégrant de nouveaux horizons temporels. La diversité des horizons souhaitée rend légitime la fourniture de trajectoire sur l'ensemble du 21^{ème} siècle.

La volonté d'un traitement homogène dans Explore2070 a été largement appréciée. Il a été suggéré de le réitérer dans une nouvelle étude et de l'élargir notamment à l'hydrologie souterraine. De plus, il a été demandé de penser un maillage spatial qui intègre mieux les besoins des territoires et les échelles de décision.

Différentes études régionales ont émergé depuis la fin d'Explore2070. Elles sont utilisées en parallèle et semblent plus facilement acceptées car les acteurs sont impliqués dans le suivi ou ont été à leur initiative. Mais tous les territoires n'ont pas forcément les ressources financières et humaines d'en faire une. Donc, l'étude nationale permet d'établir une référence pour tous.

Les acteurs demandent que les impacts anthropiques ne soient pas pris en compte, c'est-à-dire que l'on projette les impacts du changement climatique sur l'hydrologie « naturelle » ou désinfluencée, pour faciliter ensuite les discussions au niveau local sur le partage de la ressource avec différents scénarios d'usages adaptés.

Il n'a pas été proposé d'indicateurs spécifiques mais il y a une demande forte autour des événements extrêmes : crues et sécheresses.

Au-delà du contenu scientifique sur l'impact du changement climatique, il est nécessaire de penser la transmission de l'étude. La participation des acteurs locaux semble également un facteur déterminant à l'acceptabilité de l'étude. Les résultats d'un nouvel exercice doivent être en libre accès pour que chaque territoire puisse utiliser une donnée scientifiquement validée. Une réflexion amont doit être engagée pour imaginer des supports de restitution facilitant la réutilisation des données aux niveaux locaux. A ce titre, DRIAS ^{les futurs du climat}, une plateforme déjà utilisée et appréciée, pourrait être le support de diffusion à privilégier et faire évoluer.

Lors de la publication d'Explore2070, les acteurs n'étaient pas formés à l'analyse des projections qu'elles soient climatiques ou hydrologiques et particulièrement à l'analyse des données sujettes à des incertitudes. Les personnes interviewées soulèvent le manque d'ingénierie et formulent donc le besoin qu'une nouvelle étude soit accompagnée de formations, de guides de bonnes pratiques ou de méthodologies afin de cadrer les post-traitements éventuels des données produites nécessaires pour répondre à des questions opérationnelles et d'accompagner les prises de décision. La communauté scientifique tente de démystifier l'utilisation de l'information sur le changement climatique ; c'est en soi un vrai challenge (Vano et al., 2018).

4. Les expériences internationales

La France n'est évidemment pas la seule concernée par les questions de changement climatique et de son impact. D'autres pays ont engagé des projets associant des chercheurs pour fournir la connaissance nécessaire à l'élaboration de stratégies d'adaptation des territoires.

Une étude bibliographique a été menée pour identifier des études à portée nationale comparables à Explore2070 dans des pays voisins. L'objectif de cette étude est d'explorer les sites de mise à disposition d'informations à portée internationale, avant de faire un focus des études nationales concernant la Suisse, le Royaume Uni et les Pays-Bas. Les études de ces trois pays ont été retenues pour l'existence de services climatiques en version anglaise ou française, de retours d'expérience sur les différents volets de ces études et d'une littérature grise relativement abondante. Les détails sont présentés en « Annexe 2 : Les actions internationales : synthèse et apprentissage » (page 43). Ici, nous nous focaliserons sur trois aspects d'intérêt pour un nouvel Explore2070 : la place des utilisateurs dans l'élaboration des projections climatiques, l'élaboration des informations adaptées à la population ciblée et la valorisation de ces études, pour en tirer des enseignements et recommandations pour l'élaboration d'un nouvel Explore2070.

Note : Les sites internet identifiés dans le cadre de cette étude ont été consultés le 5 décembre 2019 sans garantie qu'ils soient accessibles à la date de publication de ce rapport. Cette analyse des portails climatiques et expériences en dehors de la France n'a pas la prétention d'être exhaustive et définitive.

4.1. La place des utilisateurs dans l'élaboration des projections climatiques

Skelton et al. (2017) ont comparé les stratégies d'implication des utilisateurs et les postures des scientifiques dans le processus d'élaboration des projections climatiques de l'étude UKCP09 au Royaume-Uni, de l'étude CH2011 en Suisse et l'étude KNMI14 aux Pays-Bas.

En Suisse, les scientifiques ont souligné que les acteurs n'ont pas été impliqués autant qu'ils l'auraient souhaité faute de financement dédié et d'une réelle commande exprimée à ce sujet. Des efforts ont été faits pour que la voix des utilisateurs soit entendue, même si aucune enquête n'a été réalisée. Deux places leur ont été réservées dans un groupe de coordination de six membres où ils ont pu relayer des besoins parfois hétérogènes. Dans les phases finales, un effort a été consenti pour inclure les utilisateurs en masse mais trop tardivement pour une réelle co-production, et principalement pour leur transmettre des informations.

Les Pays-Bas ont approfondi leur connaissance des besoins des utilisateurs au fil de l'étude au cours de nombreuses réunions et interactions. La première réunion de l'équipe projet s'est focalisée sur les besoins des utilisateurs. Les scientifiques ont estimé que réduire le volume d'information (parfois rendu indigeste) aux utilisateurs et les choix possibles, améliorer l'accessibilité et la compréhension des projections climatiques. Quatre scénarios ont ainsi été élaborés dans le but de « limiter » la profusion d'information climatique, nécessitant un niveau de compréhension de base, tout au moins au début. Des experts en communication ont été engagés pour ce projet.

Au Royaume-Uni, UKCIP (UK Climate Impacts Programme), en charge d'accompagner l'étude UKCP09, a organisé une consultation nationale à partir de 2003 afin de recenser les préférences des utilisateurs en termes de variables, d'horizons de simulation, de format, de présentation et de type d'information à délivrer et d'établir un retour d'expérience sur le précédent exercice UKCIP02. Un questionnaire a ensuite été mis en ligne (Steynor et al., 2012). Les résultats montrent que les attentes sont diverses, tout autant que les profils des utilisateurs et les acteurs souhaitaient que UKCP09 actualise les livrables produits par UKCIP02 avec des progrès souhaités sur la description des incertitudes et des hypothèses relatives au climat, des résolutions spatiales et temporelles plus fines et une fourniture rapide aux résultats. En 2006, un panel d'utilisateurs constitué d'acteurs familiers des projections climatiques élargi et de novices a été créé et s'est réuni cinq fois. La date de création de cette instance a été trop tardive pour une action décisive dans l'élaboration des scénarios (les modélisations étaient déjà engagées) : le panel a contribué aux choix de présentation, d'interface, de format, de niveau d'agrégation spatiale des résultats, l'accompagnement.

Au-delà de la réalisation des scénarios climatiques, les Pays-Bas ont reproduit l'expérience de la co-production pour construire leur plateforme d'adaptation pour l'aménagement du territoire. La moitié du budget de la plateforme a été allouée aux interactions avec les utilisateurs finaux afin d'améliorer la compréhension des besoins. Un collectif de 60 membres a conseillé et participé à la construction de la plateforme. Initialement, les scientifiques avaient prévu un format proche de celui d'UKCIP qui s'est révélé être inadapté aux demandes des utilisateurs. Le bilan final est positif : la plateforme est largement utilisée et a donc réussi à être un outil d'aide à la prise de décision pour l'adaptation (Laudien et al., 2019).

La littérature montre que la co-construction impliquant scientifiques et utilisateurs n'est pas aisée.

Plusieurs raisons sont à l'origine de cette difficulté.

Les deux communautés ont une vision bien différente de ce qu'une « bonne » science est. Les scientifiques ont pour mission première de développer de nouvelles approches innovantes et de les publier, tandis que les acteurs sont à la recherche d'informations utiles en réponse à des questions opérationnelles (c'est-à-dire des informations présentées de façon claire pour permettre une mise en œuvre efficace d'adaptations). Le désir des chercheurs de faire progresser les connaissances scientifiques peut entrer en conflit avec les besoins pragmatiques des utilisateurs.

Les scientifiques peuvent penser, à tort, que les utilisateurs sont des versions « miniatures » d'eux-mêmes (Porter et Dessai, 2017) ou qu'ils sont légitimes pour parler au nom des utilisateurs parce qu'ils ont établi des collaborations antérieures (Skelton et al., 2017).

Les échanges entre scientifiques et utilisateurs doivent être engagés pour gagner la confiance des utilisateurs et pour élaborer des livrables utiles (Palutikof et al., 2019 ; Hewiston et al., 2017). Dans cet esprit, différentes publications (Porter et Dessai, 2017 ; Dilling et Lemos, 2011 ; Hanger et al., 2013 ; Klenk et Meehan, 2015 ; Meadow et al., 2015) ont recensé les approches visant la co-production : elles sont nombreuses et spécifiques aux projets, et dépendent des relations établies entre science et société (contexte scientifique, politique et social) au sein de chaque pays et du projet (p.e. temps consacré). *In fine* le bénéfice de la co-production n'émerge que s'il y a une réelle volonté de changer de mode de pensée et d'implication de la part des partenaires du projet (Porter et Dessai, 2016).

4.2. Des informations ciblées vers une communauté d'utilisateurs

L'importance du choix de la population d'utilisateurs émerge à plusieurs niveaux : dans les étapes de co-production et dans la phase de diffusion et de valorisation.

Le terme « utilisateur » est ambigu et le risque pour les scientifiques au moment de la co-construction est de choisir la définition qu'ils préfèrent. Le choix des utilisateurs impliqués n'est pas neutre : il orientera la nature de l'information produite et les secteurs privilégiés d'application et de valorisation (Skelton et al., 2017). Il faut ainsi savoir "qui est inclus dans le processus de production de connaissances", "à qui sont destinées les informations climatiques" et "qui utilise les informations climatiques" (Klenk et al., 2015). La littérature propose plusieurs typologies d'utilisateurs dont les besoins en termes d'informations sont différents.

Dans le cas des utilisateurs de données climatique, Skelton et al. (2019) proposent des profils types d'utilisateur en prenant comme métaphore un iceberg pour les scénarios climatiques : ils distinguent les *observateurs* (ils vont examiner l'iceberg de loin, mais sans nécessairement exploiter les informations dans leurs missions), des *marins* (ils vont se contenter des principales conclusions, parfois sous forme de synthèses : la partie émergée de l'iceberg), et les *plongeurs* (ils vont étudier la grande masse de données, sous la ligne de flottaison). Les « marins » ont représenté la majorité des utilisateurs des résultats de l'étude suisse CH2011. En pratique, il n'est pas toujours possible d'identifier ces différents types d'utilisateur. Il faut donc encourager une information utilisable pour les différents niveaux : des informations clés et des données.

Outre le profil des utilisateurs, les prérogatives et domaines d'expertise de ces utilisateurs sont un autre élément à examiner dans le processus de co-construction. Les besoins en termes de valorisation ou d'informations recherchés diffèrent selon le secteur d'application. Sans précaution la co-production risque de se faire au profit d'un groupe au détriment d'un autre. Ainsi, le domaine de l'eau touche de nombreux domaines connexes l'agriculture, les industries, les assurances, l'aménagement du territoire, la biodiversité, les risques naturels, etc. Est-ce possible de fournir de la donnée utilisable par tous ces secteurs ?

D'autres biais de sur ou sous-représentation peuvent enfin émerger : les utilisateurs ayant le plus de facilité à exprimer leur besoin reçoivent plus d'attention et les utilisateurs sans expérience antérieure sur le changement climatique ont des difficultés à entrer dans le jeu d'acteurs.

4.3. Les supports de diffusion

Au vu des demandes récoltées dans l'enquête et des productions en Europe, ils semblent difficiles de dissocier scénarios climatiques, plateformes, et outils. Un package est donc à

produire pour faciliter l'assimilation des données par les utilisateurs à travers une meilleure accessibilité, des données plus « user-friendly », des cas d'étude, une notice d'utilisation, etc.

Le projet suisse CH2018 fournit des cartes et met à disposition les données.

Au Royaume-Uni, UKCP09 et UKCP18 fournissent des résultats et des outils de visualisation. Dans le cadre du projet UKCP09, les scientifiques ont organisé des sessions de formation, fournit une notice d'utilisation élaborée en co-production, des cas d'études et un helpdesk. L'ensemble de ces services a été utilisé et apprécié (Steynor et al., 2012). Ces demandes ont été faites en complément de la plateforme de l'UKCIP, chargée de l'adaptation au changement climatique. Un service d'accompagnement semble incontournable.

Au Pays-Bas et en Allemagne, des leçons similaires ont été tirées de la création et la mise à jour des plateformes nationales pour l'adaptation : la modularité, des exemples, être utilisable pour plusieurs besoins, permettre la participation, un guide pour passer à l'action (Lauden et al., 2018 ; Habe et Kind, 2019). Une plateforme bien développée est un facteur important pour la prise de décision en adaptation (Hanger et al., 2013).

En dehors du support numérique, au Royaume-Uni, UKCIP a joué un rôle important d'interface entre scientifiques et utilisateurs. De telles structures peuvent involontairement limiter les interactions (Porter et Dessai, 2017) mais, bien missionnées, elles facilitent la médiation et la diffusion de l'information sous des formes utiles aux utilisateurs (Lemos et al., 2012).

Quel que soit le type d'interface, il faut être attentif au champ lexical et éviter des écueils liés à l'usage du jargon, frein à la diffusion de l'information (Palutikof et al., 2019 ; Habe et Kind, 2019), et certains aspects sensibles (ex. les incertitudes) méritent une attention particulière (ex. la manière de communiquer peut avoir une influence sur la façon dont le public les reçoit (Ho et Budescu, 2019)).

5. Le contexte scientifique en 2020

A l'initiative du MTES, de l'AFB et d'Irstea, un séminaire scientifique d'une journée, rassemblant 24 participants dont six membres du comité de pilotage du projet s'est tenu le 24 septembre 2019 au centre Irstea Lyon-Villeurbanne. Les chercheurs présents font partie d'une liste étendue de plus de quarante scientifiques invités par les organisateurs et experts en hydrologie, hydrogéologie, hydro-climatologie et climat, qui ont pu se libérer le jour du séminaire. Le séminaire a eu pour objectifs : (1) de communiquer les conclusions de l'enquête menée auprès des acteurs sur l'étude Explore2070 et (2) de croiser les besoins émergents des acteurs avec les possibilités offertes par les derniers développements de la recherche.

- Avant-propos sur le montage du projet Explore2070
Pour mémoire, il s'agissait d'une commande du ministère sous forme de marché avec coordination des lots attribuée au cabinet d'audit KPMG, ce montage n'avait pas été apprécié par les chercheurs, notamment du fait de la méconnaissance totale du sujet et des enjeux scientifiques associés de la part des personnels du cabinet.
- Que doit-on garder d'Explore2070 ? ou que doit-t-on faire différemment ?
 - Comme pour Explore2070, la modélisation homogène sur le territoire est acquise au moins en termes de climat ; cependant, des zooms sur certaines régions qui voudraient regarder des événements à des résolutions temporelles plus fines (ex. horaire pour traiter des questions de l'hydrologie urbaine ou des crues types cévenoles).
 - Les nouvelles générations de modèles sont en capacité de fournir des simulations transitoires continues pour le climat sur le 21^{ème} siècle. Dans un objectif de communication, les trajectoires en continu permettent d'illustrer la variabilité interannuelle et de limiter le risque ou la tentation des gestionnaires de vouloir aller regarder des horizons trop proches et des périodes de profondeur trop courtes (2030-2035 par exemple). Pour des besoins de communication (élaboration de messages clefs) ou des moyens de calculs limités (par exemple sur les zooms régionaux du fait de modélisations à résolution spatiale et temporelle plus fine), il semble utile d'identifier des fenêtres cibles pour ensuite fournir des différences par rapport à une période de référence.
 - Un nouveau projet doit nécessairement se fonder sur une approche multi-modèle pour intégrer une partie des incertitudes. La question est de savoir si on doit mettre en œuvre :

- Une stratégie classique d'étude d'impact avec toutes les projections climatiques régionalisées ; cependant ce foisonnement de projections climatiques risque de générer des temps de calculs et des stockages importants.
- Une présélection avec un échantillon restreint en se basant sur une expertise antérieure des modèles (cf. ceux présents dans DRIAS, bien que ce soit des sorties de CMIP5 pour l'instant).
- Une troisième option est de sélectionner uniquement des projections contrastées, *i.e.* très différentes en termes de précipitations, températures, etc., et ce à chaque échelon de la chaîne de modélisation (GCM puis RCM, voire hydrologique) ; cette option peut se révéler inintelligible par les acteurs de l'eau et rendre difficile l'identification d'un scénario médian.
- Il y aura peut-être de nouvelles variables à simuler, calculer et proposer (neige, vent, etc.).
- Quelles méthodes de régionalisation pour le climat ? Quel calendrier de mise à disposition ?
- Les deux approches - dynamiques et statistiques - sont toujours d'actualité dans la communauté scientifique ; elles font appel à des hypothèses différentes et leur utilisation conjointe permet d'appréhender les incertitudes. Les résultats des régionalisations sont indispensables pour appliquer les modèles d'impact (hydrologiques ou hydrogéologiques).
- En dehors de la question de la sélection des projections climatiques, se pose celle sur la disponibilité des projections : en septembre 2019, la stratégie de mise à disposition des données sur le portail DRIAS ^{les futurs du climat} est la suivante à l'horizon mi-mai (source : P. Etchevers, Météo-France Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, septembre 2019) :

	HIST	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	
CLMcom-CCLM4-8-7 / MPI-M-MPI-ESM-LR	x	x	x	x	Terminé
SMHI-RCA4 / ICHEC-EC-EARTH	x	x	x	x	En cours
KNMI-RACMO22E / ICHEC-EC-EARTH	x	x	x	x	A faire
SMHI-RCA4 / IPSL-CM5A-MR	x		x	x	Bientôt disponible
KNMI-RACMO22E / CNRM-CERFACS-CM5	x	x	x	x	ND
GERICS-REMO2015 / NCC-NorESM-M	x			x	
CNRM-ALADIN63 / CNRM-CERFACS-CM5	x	x		x	
DMI-HIRHAM5 / NCC-NorESM-M	x		x	x	
CLMcom-CCLM4-8-7 / MOHC-HadGEM2-ES	!*		!*	!*	
IPSL-WRF381P / IPSL-CM5A-MR					
ICTP-RegCM4-6 / MOHC-HadGEM2-ES	*	*		*	
ICTP-RegCM4-6 / MPI-M-MPI-ESM-LR	automne	automne		automne	

Les projections sont issues des nouvelles générations de RCM avec des projections globales de CMIP5, obtenues dans le cadre d'EURO-CORDEX (<https://euro-cordex.net/>) et débiaisées avec la méthode Adamont (Verfaillie et al., 2017). Le choix de ces projections résulte d'une expertise des centres de recherche IPSL, CERFACS et CNRM. Il privilégie les contributions françaises, rend compte de l'absence de problème « grave » signalé par les producteurs, la qualité des jeux de données (données manquantes, aberrantes, etc.), le nombre de RCPs disponibles, les variables simulées, etc. DRIAS se veut complémentaire du site EUROCORDEX, du fait des corrections réalisées et de l'expertise.

La question de l'exploitation des résultats de CMIP6 se posent : le sixième rapport d'évaluation du GIEC est attendu pour 2021. La production des projections globales sera achevée en 2020 (les organismes français ont déjà « rendu leur copie », cf. communiqué de presse du 17 septembre 2019, <http://www.cnrs.fr/fr/changement-climatique-les-resultats-des-nouvelles-simulations-francaises-0>).

Les premières projections régionalisées par Météo-France du climat devraient être disponibles en 2020 (utilisation du RCM ALADIN), et se poursuivra les deux années suivantes. Le débiaisage des scénarios régionalisés est envisagé à partir de 2021, pour finalement, fournir des jeux de données complets (nombre de scénarios et de couples GCM/RCM) utilisables pour alimenter les modèles d'impact en 2022.

L'IPSL (LSCE) s'engagerait dans un exercice de régionalisation en mobilisant des méthodes de descentes d'échelle statistiques multivariées sur les projections CMIP6, notamment dans le cadre d'un projet ANR soumis en 2019 (source : M. Vrac).

HydroSciences Montpellier (source : Y. Trambly) travaille actuellement avec des nouveaux modèles type AROME-Climat (prise en compte de la convection, pas de temps horaire) pour des applications uniquement régionales.

Les derniers travaux du CERFACS pour la France métropolitaine sont ceux réalisés dans le cadre de la thèse de G. Dayon soutenue en 2015 (Dayon et al., 2018) : des projections régionalisées à partir de CMIP5 ont été élaborées à différents horizons : 2035-2065, 2070-2100 selon différents couples RCP-GCM (RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5, 10 GCMs). Il n'y a pas de projets en cours.

L'opportunité de se saisir des résultats des exercices de modélisation à fine échelle de High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP, Haarsma et al., 2016) a été évoquée, mais le calendrier ne semble pas favorable à une exploitation immédiate des résultats.

L'exploitation des résultats de CMIP6 semble à privilégier, même si le calendrier de mise à disposition n'est pas propice car il pourrait retarder le lancement du processus d'actualisation.

- Quelles avancées sur les modélisations hydrologiques et hydro-géologiques ?

En dehors de toute utilisation des modèles d'impact forcés par des projections hydro-climatiques, une réflexion est nécessaire :

- construction d'un protocole de comparaison ou de validation des sorties des modèles mais aussi des variables d'état interne aux modèles quand cela est possible,
- identification de stations de référence pour caler ou/et analyser les performances,
- identification des points cibles d'intérêt pour les acteurs (points nodaux, stations impliquées dans les arrêtés sécheresse, etc.) à intégrer dans les points de sortie des modèles,
- mise en place d'expérimentations multi-modèles/multi-projections en cohérence avec l'objectif de quantifier les incertitudes,
- analyse de sensibilité aux forçages climatiques (cf. approche développée dans le projet GICC-Rhône et approche de scénario neutre (Ray et Brown, 2015 ; Sauquet et al., 2019)) et mise en place d'une typologie de modèles hydrologiques selon la sensibilité des différentes composantes du régime hydrologique à des forçages modifiés prescrits (objectif : comprendre des comportements spécifiques de modèles),
- extrapolation des résultats sur les bassins versants non jaugés.

Un premier inventaire des outils mobilisables a été fait en séance ; il s'agit de SIM, Surfex-Aqui-Fr, ORCHIDEE, J2000, MORDOR, Sispat, SWAT, les différentes versions de GR (dont SHYREG, GRSD, LOIEAU, GR6J). Certains ont déjà été déployés à l'échelle nationale (ex. modèles GR, SHYREG, SIM), d'autres ont des emprises régionales (ex. J2000, MORDOR) ou locales (ex. Sispat).

Des applications sont actuellement en cours au sein d'INRAE (thèses sur la robustesse des modèles conceptuels et sur le déploiement de la version distribuée de GR à l'échelle nationale)

- Quelles possibilités sur les DOM ?

- Des simulations régionales futures ont également été produites en 2019 sur l'Océan Indien avec le modèle à échelle Aladin dans le cadre de CMIP6, incluant donc la Réunion et Mayotte. D'autres simulations de ce type par la communauté française seront réalisées sur les Antilles, la Polynésie française et la Nouvelle Calédonie. Il existe une communauté de modélisateurs CORDEX sur les secteurs géographiques qui pourraient apporter leur contribution (ex. <https://cordex.org/domains/cordex-region-central-america-cordex/>, <https://cordex.org/domains/region-9-australasia/>) avec possibilité d'utiliser Adamont pour débiaiser par rapport aux bases « locales » .
- Les expériences antérieures partagées par les chercheurs (cf. travaux d'Irstea sur Mayotte, Réunion et Guyane) montrent que la qualité des données hydrométriques est toute relative (en particulier du fait de l'occurrence de cyclones, de dynamique morphologique active), ce qui rend difficile la modélisation hydrologique. Un modèle hydrogéologique existe sur Martinique

- Quelle prise en compte de l'anthropisation ?

Dans Explore2070, les modélisations des ressources souterraines ont intégré des scénarios de prélèvement et les acteurs ont eu des difficultés à se saisir des résultats. Mêler changement d'origine climatique et actions anthropiques sur la ressource ne permet pas d'identifier clairement leur contribution relative aux évolutions et les leviers d'action pour l'adaptation. Les hydrologues n'ont pas examiné la

question dans Explore2070 (c'est principalement la disponibilité des données qui a guidé le choix des stations de référence).

Doit-on se fixer l'objectif de quantifier la ressource naturelle disponible ? Le problème vient alors de la disponibilité de données la qualifiant. Aucun des bassins versants français jaugés ne peut prétendre aujourd'hui être totalement naturel. Les régimes hydrologiques présentent des influences mineures à significatives ; la banque de données HYDRO fournit une information qualitative à ce sujet. Il n'est pas actuellement possible de quantifier objectivement le niveau d'altération des débits observés. L'appréciation des performances des modèles est biaisée si le modèle fournit une estimation de la ressource naturelle ; le calage pour les modèles conceptuels l'est également (avec des paramètres estimés ambigus et des interrogations sur la signification des débits estimés sous changement climatique).

Certains modèles ont intégré des modules d'usage de l'eau (ex. irrigation pour Surfex et ORCHIDEE, irrigation, eau potable et gestion des grands ouvrages dans J2000). La difficulté est d'accéder aux données d'usage. En effet, la Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau (www.bnpe.eaufrance.fr) est incomplète pour un exercice national : profondeur temporelles réduite (de 2012 à 2017 pour l'ensemble de la métropole et de 2008 et 2012 pour les bassins Artois-Picardie, Adour-Garonne et Loire-Bretagne, interrogation du site en janvier 2020), accès aux points de prélèvement sans information sur les restitutions, ni sur les consommations). Cet exercice de comptabilité doit être complété par des éléments de gestion de l'eau (ex. arrêtés sécheresse, plan annuel de répartition des organismes uniques de gestion collective). Sous changement climatique, un exercice de prospective sur les trajectoires les déterminants des usages serait nécessaire, même si les cinq familles de scénarios globaux d'évolution socio-économique (Shared Socioeconomic Pathways, SSP) fournissent des premiers éléments (ex. des cartes d'occupation du sol) mais leur pertinence à l'échelle régionale mériterait d'être examinée.

La question finalement abordée est : doit-on travailler sur de la renaturalisation des débits ou sur de l'hydrologie influencée ? La réponse pourrait se trouver en interrogeant les acteurs : l'enquête réalisée orienterait vers des débits naturalisés pour que les gestionnaires puissent s'approprier (plus) facilement les résultats (non dépendants d'hypothèses sur les usages et leurs évolutions) pour tester ensuite des scénarios d'adaptation. Quoi qu'il en soit, la confrontation des débits observés aux débits naturalisés serait importante à communiquer auprès des gestionnaires avant même d'engager l'étude d'impact.

Un effort de collecte des séries naturalisées (cf. études antérieures, études volumes prélevables, etc.) devra être mené pour examiner le volume de séries disponibles. Un travail de classification des bassins versants selon la pression des usages au regard de la disponibilité de la ressource pourrait être engagé pour relativiser les performances des modèles.

Quelle que soit l'option choisie, il faut qu'elle soit suffisamment ouverte pour permettre d'accueillir le plus grand nombre de modèles et de répondre aux besoins des utilisateurs des projections. Un dernier point de vigilance non discutée en séance concerne la cohérence attendue entre les résultats des modèles hydrologiques et modèles d'aquifères.

- Quelle place pour les incertitudes ?

Des travaux sur la répartition des sources d'incertitudes semblent incontournable (nécessité de mettre en place des plans d'expérience coordonnés).

- Quelle(s) période(s) de référence choisir ?

La question se pose pour le calage des modèles ou l'appréciation de leurs performances, mais également pour mesurer et communiquer l'amplitude des changements probables. Une période de référence choisie par le GIEC est 1850-1899 (référence pour la période préindustrielle), mais non adaptée ici compte tenu de la disponibilité des données. Deux options sont possibles : 1981-2010 puis 1991-2020, références des « normales » de Météo-France ou 1961-1990 comme dans Explore2070.

En termes de temporalité, le projet pourrait introduire la notion de « time of emergence », moment à partir duquel on sort de la variabilité naturelle du climat et qui pourrait être différent selon les indicateurs hydrologiques (module, débit d'étiage, durée d'étiage, etc.) et les variables réglementaires.

- Quelle capacité de DRIAS à incorporer de nouvelles projections (dont hydrologiques) ?

Le portail DRIAS ^{les futurs du climat} est en évolution constante notamment pour répondre aux besoins sectoriels croissant. La mise à disposition des résultats sur ce portail est un avantage en terme de diffusion du fait de sa grande visibilité, en revanche ce n'est envisageable que moyennant des évolutions importantes. Un projet « Supporting long-term local decision-making for Climate-adapted Water Management » (acronyme LIFE Eau&Climat) soumis à l'APR « LIFE Climate Governance and Information » en septembre 2019, pourrait soutenir cette dynamique d'évolution, pour partie. La discussion s'est focalisée sur DRIAS ; un autre portail géré par Météo-France pourrait être mobilisé dans la diffusion des résultats plutôt vers le grand public dans sa forme actuelle : Climat ^{HD} (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>).

6. Conclusion

Explore2070 fournit une base scientifique nationale permettant la construction de la prospective française sur les évolutions de la ressource en eau. Cette étude devait permettre de quantifier les impacts du changement climatique sur l'eau et concevoir des stratégies d'adaptation au niveau national. Elle n'a pas complètement permis ce passage d'une approche qualitative vers une approche quantitative au travers de la manipulation des données. Finalement, la diffusion non optimale (absence de portail dédié) et le format de restitution des résultats semblent être à l'origine de l'utilisation réduite d'Explore2070.

Les expériences identifiées dans trois pays européens présentent toutes une organisation du projet assez similaire. Un institut national de recherche sur la météorologie et le climat en charge de partager la donnée brute et des organisations gravitant autour de celui-ci chargées de l'adaptation et/ou de l'interaction avec les utilisateurs. Tous les pays étudiés ont fait réaliser plusieurs scénarios climatiques à l'échelle nationale pour évaluer les évolutions probables du climat. En hydrologie, les extrêmes (crue et sécheresse) sont généralement traités en raison des enjeux qu'ils représentent. Que ce soit pour le climat ou l'hydrologie, l'information n'est pas toujours territorialisée. Finalement, seul le Royaume Uni a produit de la donnée similaire à Explore2070 (cf. notamment les fiches de synthèse). Ce retour d'expérience sur les études de pays voisin n'est pas exhaustif : les informations collectées sur les services climatiques ne constituent certainement qu'une fraction réduite des informations disponibles aux utilisateurs sur l'impact du changement climatique.

L'étude des services climatiques est en soi un sujet de recherche qui émerge avec des questions sur la place à réserver aux acteurs dans le processus de co-construction, sur les postures des scientifiques pour assurer une pertinence à ces services, etc.

Globalement, les bonnes pratiques encouragent à intégrer des utilisateurs dans la démarche, le plus tôt possible pour faire entendre les besoins principaux des praticiens et pour sensibiliser le public non averti. Le panel des acteurs pouvant être large, la population peut être scindée en sous-groupes bien identifiés (secteur, profil d'utilisateur) pour répondre à des besoins ciblés.

La posture des scientifiques intervient dans la réussite de l'étude. Elle a des implications dans la manière dont les utilisateurs sont impliqués dans le processus et la pertinence de l'information (contenu hors sujet par rapport à l'usage attendu, jargon qui rend les informations absconses). Dans le cadre d'un projet de services climatiques, l'objectif d'une utilisation optimale des recherches doivent inévitablement prendre le pas sur celui de poursuivre d'une science motivée par la seule curiosité.

Les acteurs sont en attente d'une actualisation des projections hydro-climatiques élaborées pour l'étude Explore2070.

La communauté scientifique a progressé depuis les années 2010 et, avec le recul sur des études d'impact, a les moyens de faire mieux que ce qui a été réalisé dans le cadre d'Explore2070. Elle a exprimé son souhait de s'impliquer dans un nouvel exercice de production de données hydro-climatiques pour soutenir la mise en place de stratégies d'adaptation sur les territoires. Les chercheurs partagent l'objectif d'un exercice de modélisation nationalement homogène sur l'ensemble du 21^{ème} siècle en s'appuyant sur les développements les plus récents de la recherche et s'appuyant sur les derniers résultats du GIEC (CMIP5 ou CMIP6 selon le calendrier envisagé par le nouvel exercice).

Cette volonté de traiter l'échelle nationale et la totalité du 21^{ème} siècle ne doit cependant pas interdire des zooms régionaux (pour des raisons sectorielles) avec une fenêtre temporelle restreinte (pour des raisons de capacité de calcul).

Cette volonté étant affirmée, la production de nouvelles données ne sera pas immédiate : un cadre générique doit être construit en concertation. La communauté scientifique doit notamment examiner sa capacité à se saisir des résultats à l'échelle globale de CMIP6 (en cours d'analyse dans la communauté

du climat). Elle doit se coordonner pour décider de la place relative des actions humaines sur la ressource dans le processus de modélisation et pour mettre en place des protocoles de comparaison équitable et d'estimation objective des incertitudes.

L'étude Explore2070 a été la première prospective nationale. Elle a eu le mérite d'exister et d'initier des études régionales mais son utilisation n'a pas été optimale faute de canal de diffusion officiel, pérenne et public. Reproduire ce qui a été réalisé n'est pas à envisager. Il faut s'appuyer sur l'expérience acquise dans le cadre de développement des services climatiques et les interactions avec les utilisateurs (notamment de Météo-France avec le portail DRIAS). De nouveaux supports (à destination technique ou de communication) sont à inventer avec des opérateurs proches des territoires pour les accompagner notamment dans l'utilisation en autonomie des données produites et dans l'appréciation des incertitudes. Il faut identifier, associer et structurer au plus tôt la communauté des utilisateurs potentiels et poursuivre la discussion engagée avec les acteurs sur le retour d'expérience.

Ces différents enjeux sont examinés dans le cadre d'une action de recherche en cours, co-financée par l'OFB et INRAE.

7. Annexe 1 : Le retour d'expérience des acteurs

7.1. Introduction

L'étude Explore2070 commence à dater. Il semble nécessaire de faire un retour sur l'exploitation de cette étude par les opérationnels afin d'évaluer les utilisations faites et la demande opérationnelle, avant d'initier une réactualisation d'Explore2070. Dans ce cadre, une enquête en deux temps a été réalisée, afin de récolter un matériel utile à la définition des contours scientifiques et techniques d'une nouvelle étude prospective nationale sur l'impact du changement climatique sur la ressource naturelle.

Dans un premier temps, un ensemble d'entretiens semi-directifs ont permis de recueillir les expériences d'acteurs impliqués dans des prospectives territoriales et de connaître leurs besoins opérationnels. Elle a été réalisée auprès d'un échantillon représentatif d'acteurs avec les objectifs suivants :

- Réaliser un bilan du projet Explore2070,
- Evaluer ses forces et faiblesses,
- Recueillir les besoins émergents.

Ces trois objectifs ont été validés par le comité de pilotage du projet « REXplore2070 », constitués de représentants de l'AFB, du MTES, des agences de l'eau, de la Convention Services Climatiques (COSC, <https://cse.ipsl.fr/projets/151-convention-sc>), de Météo-France et d'Irstea.

Dans un deuxième temps, un questionnaire en ligne a été élaboré à partir des résultats des entretiens afin d'élargir l'échantillon des personnes interviewées et/ou de confirmer les conclusions tirées des entretiens. L'accent a principalement été mis sur les attentes des opérationnels pour une nouvelle étude, en particulier sur les indicateurs attendus par ceux-ci.

7.2. La méthodologie

7.2.1. Les entretiens semi-directifs

Le déroulement des entretiens

La première phase de l'enquête a été réalisée au cours d'entretiens semi-directifs. Un guide d'entretien (Guide des entretiens **semi-directif**, page 37) a servi de fil conducteur commun à tous les entretiens afin que les thématiques importantes soient systématiquement abordées et que la collecte d'informations soit uniforme. Articulé en trois grandes parties, il structure la discussion en plusieurs étapes. Malgré tout, de par la souplesse que confère l'entretien semi-directif, le déroulement de l'échange s'est adapté aux connaissances et expériences des interviewés. Du fait, de la diversité du panel d'acteurs interrogés, leurs visions et leurs utilisations des études prospectives sur l'impact du changement climatique étaient différentes. Certains interviewés n'avaient pas ou très peu utilisé Explore2070 mais avait une connaissance approfondie d'une autre étude prospective sur la ressource en eau. Cette diversité imposait une adaptation du déroulement de l'entretien dans chacun des cas.

Le Tableau 2 présente de manière synthétique le squelette de la grille d'entretien avec les questions qui ont été examinées de manière presque systématique. Les interviews ont duré en moyenne une heure [40 minutes ; 1 heure 50 minutes]. Les entretiens collectifs duraient plus longtemps. Ils ont été réalisés dans les cas où plusieurs personnes d'une même entité ou travaillant sur un même périmètre géographique souhaitaient répondre conjointement.

Tableau 2 : Grille d'entretien

Question générale	
Pouvez-vous vous présenter ?	
Quelles sont vos missions en lien avec le changement climatique ?	
Explore2070, une étude nationale	
Contexte d'utilisation	Quels usages ?
Contenu technico-scientifique	Qu'est ce qui a été utilisé d'Explore2070 ? (données, lots)
	Comment vous êtes-vous approprié(e) les résultats ? (facilité à les utiliser, les analyser, les comprendre)
	Que pensez-vous de la valorisation d'Explore2070 ? (communication/diffusion)
	Quels sont selon vous les points forts et faiblesses d'Explore2070 ?
	Remarques complémentaires et expression libre pour conclure.
Etudes prospectives sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau à l'échelle de territoire	
Objectif	Avez-vous utilisé ou fait réaliser une étude autre qu'Explore2070 ? Pourquoi ?
Contenu scientifique et technique	Quel retour sur le contenu scientifique et technique ?
	Comment vous êtes-vous approprié(e) les résultats ? (facilité à réutiliser, l'interprétation, la compréhension)
	Que pensez-vous de leur valorisation ?
Mise en perspective	Quels apports par rapport à Explore2070 ?
	Pourquoi avoir privilégié cette étude ?
Les attentes et les nouveaux contenus	
Objectifs	Y-a-t-il un besoin d'actualiser Explore2070 ? Pourquoi ?
Nouveaux contenu attendu	Résolutions spatiale et temporelle d'intérêt
	Quelles données à fournir, quels indicateurs ?
	Quel horizon et scénario ?
	Température de l'eau ?
	Evénement extrême ?
	Quelles études planifiez-vous de réaliser ?
	Nouvelles valorisations ?
	Remarques complémentaires et expression libre ?

(cf. Guide des entretiens semi-directif, page 37)

Le choix de la population

Le comité de pilotage du projet REXplore2070 a identifié 79 acteurs lors de la phase initiale. Parmi ces 79 personnes, 51 acteurs ont été sélectionnés et contactés par mail pour leur proposer un entretien. Les acteurs interviewés ont été choisis pour leur mission, au sein de leur entité, en lien avec le changement climatique. Finalement, 23 acteurs ont été interrogés au cours de 19 entretiens. Les entretiens ont été réalisés en présentiel, en visioconférence ou par téléphone.

La population d'acteurs interviewés peut être divisée en cinq grandes catégories (Tableau 3 *Tableau 3*).

Le choix de cibler la population a permis de recueillir des informations d'individus avertis sur la thématique du changement climatique et des problématiques liées à l'adaptation. Les enjeux encore récents de l'adaptation au changement climatique n'ont pas été saisis par toutes les collectivités et EPTB (Etablissement Public Territoriale de Bassin). Ce choix de cibler une population sensibilisée à ces questions se justifie par la volonté d'accéder à une information qualitative. A contrario, le choix introduit un biais à l'enquête. Les conclusions de l'enquête n'étant probablement pas représentatives de tous les acteurs opérationnels du domaine de l'eau. C'est à ce titre qu'un questionnaire en ligne a été développé et publié pour confirmer les premières conclusions en élargissant la population touchée.

Tableau 3 : Les acteurs interrogés

Organismes socioprofessionnels (les chambres consulaires ; les entreprises et bureaux d'étude, les syndicats professionnels, etc.)	5 bureaux d'études travaillant sur la thématique gestion de l'eau
	1 producteur d'électricité
Recherche (université, institut scientifique et technique, etc.)	3 chercheurs ayant travaillé sur des études prospectives sur la ressource en eau
Etat et ses établissements publics (DDT, DREAL, DDPP, AFB, Agence de l'eau, ARS, etc.)	3 Agences de l'eau
	2 DREAL
	1 AFB
	3 Office de l'eau
	1 DEAL
Collectivités territoriales (communes et groupement de communes, département, région, etc.)	3 personnes d'une collectivité
Etablissement publics territoriaux (EPTB, PNR, etc.)	1 Etablissement Public Territorial de Bassin

La phase d'analyse

Les entretiens ont tous été enregistrés pour permettre une synthèse exhaustive des thèmes abordés. Aucun pourcentage issu de l'enquête ne sera présenté pour appuyer les conclusions tirées en raison du caractère semi-directifs des entretiens et, comme précisé précédemment, les entretiens se sont déroulés différemment à chaque fois prenant en compte la spécificité des interviewés sur l'usage ou non d'Explore2070.

Cependant pour donner un poids à certaines affirmations présentées dans les parties 5 et 6, le nombre de fois où cette affirmation a été recueillie par catégories d'acteurs sera indiquée.

La notation utilisée dans toute la suite du rapport pour quantifier les conclusions est l'objet de la Figure 1 :

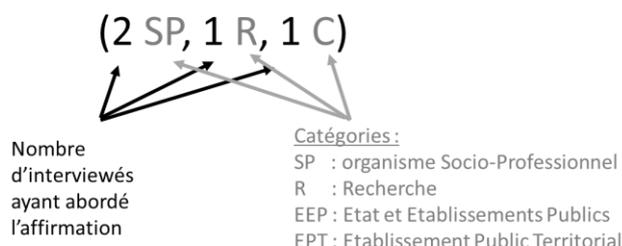


Figure 1 : Code de quantification des affirmations

7.2.2. Le questionnaire en ligne

Le questionnaire

La série d'entretiens semi-directifs a permis de réaliser un premier travail pour comprendre les utilisations et besoins des acteurs. Les conclusions de cette première étape ont permis d'élaborer ensuite un questionnaire en ligne avec notamment l'objectif de récolter de façon plus précise les indicateurs hydro-climatiques attendus par les acteurs. Par choix, le questionnaire ne s'attarde pas sur le retour d'expérience sur Explore2070 et les autres études prospectives régionales afin de produire un questionnaire court et accessible. Le questionnaire se concentre donc sur les attentes et les besoins des acteurs pour une nouvelle étude prospective sur l'impact du changement climatique sur la ressources en eau.

Les grands axes du questionnaire sont les suivants :

- La connaissance d'Explore2070,
- Le bilan des usages d'Explore2070,
- L'intérêt d'une nouvelle étude prospective nationale sur les ressources en eau,
- Le périmètre et les évolutions attendues d'une nouvelle étude,
- Le profil de la personne interrogée.

Le questionnaire est essentiellement constitué de questions fermées « oui/non » et à choix multiples. Tout en laissant des espaces d'expression libre à la fin de chaque partie pour permettre

aux acteurs de compléter et être force de proposition.

Le contenu est disponible en dans la section « Le questionnaire en ligne » (page 21). Il a été développé avec l'outil LimeSurvey (<https://www.limesurvey.org/fr/>) de prise en main facile. Afin d'obtenir un maximum de réponses, le questionnaire était relativement court un total de 26 questions pour un temps de réponse moyen de 12 minutes et mis en ligne du 30 juillet 2019 au 1^{er} novembre 2019, 69 personnes ont répondu.

La diffusion du questionnaire

Le questionnaire a été diffusé largement à la fois auprès des acteurs qui avait été interrogés lors de la première phase de l'enquête, à l'ensemble des personnes qui avait été identifié lors de la phase préliminaire de l'enquête, soit un total de 79 personnes. Les membres du comité de pilotage ont eu la possibilité de transmettre ce questionnaire à leurs partenaires. Le lien vers le questionnaire a été publié dans la newsletter de juillet 2019 de l'Ademe : « *Veille Mensuelle Internationale sur l'Adaptation au Changement Climatique* ».

La population

Cette étude a eu la volonté de toucher un large panel d'acteurs, c'est-à-dire travaillant dans le secteur privé (bureaux d'étude, notamment) et public (collectivités, institutions et centres de recherche).

L'analyse des profils (Figure 2, Figure 3, Figure 4) montre une participation de tous les secteurs d'activité de l'eau avec une majorité d'acteurs travaillant sur le changement climatique, la gestion quantitative et des milieux aquatiques, et la biodiversité. Les acteurs interviewés sont, de par leurs missions dans différentes entités, sensibilisés à la thématique. On peut admettre que les grandes problématiques associées au changement climatique ont bel et bien été couvertes par l'enquête. On note une surreprésentation du secteur Artois-Picardie et sous-représentation du secteur Loire-Bretagne. Malgré cela, la population sondée présente une bonne diversité géographique.

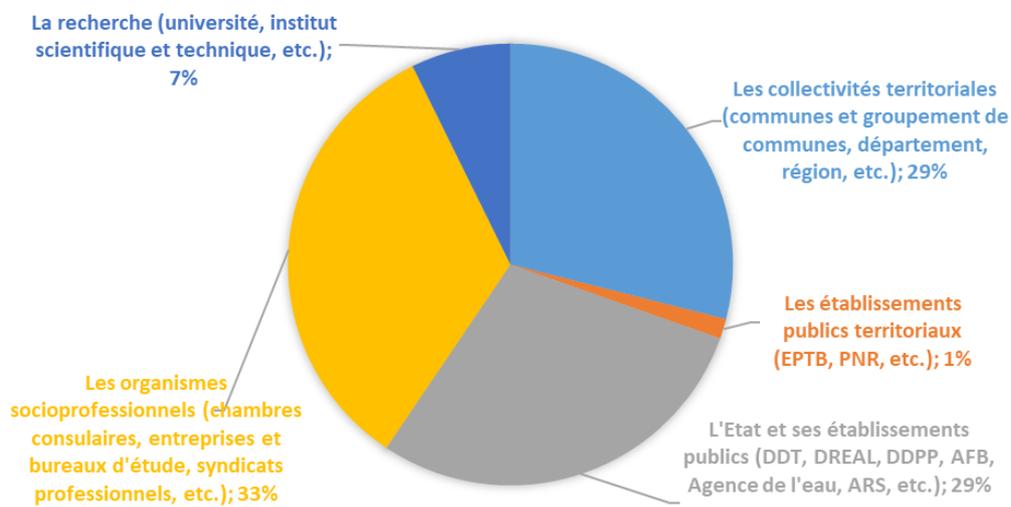


Figure 2 : Structures des personnes interrogées lors du questionnaire en ligne

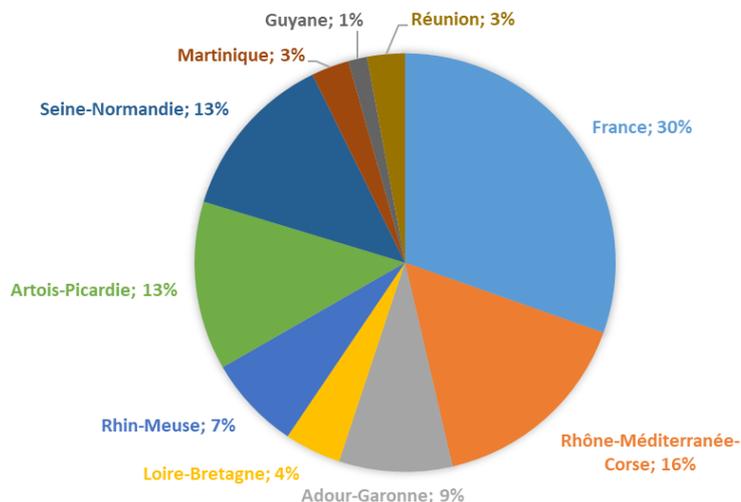


Figure 3 : Territoires de gestion de la population interrogée lors du questionnaire en ligne

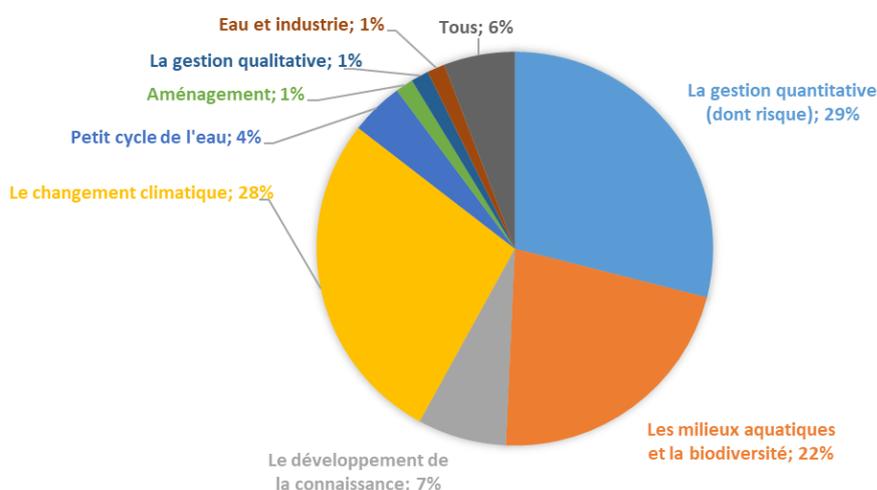


Figure 4 : Secteurs d'activité des personnes ayant répondu au questionnaire

7.3. Quels bilans du premier exercice de prospective nationale Explore2070, et d'autres prospectives territoriales ?

La première étape de cette enquête a consisté à interroger les acteurs sur leur expérience d'utilisateur. Le questionnaire en ligne révèle que seuls 56 % des acteurs ayant répondu au questionnaire connaissent Explore2070 et seulement 61 % d'entre eux l'ont effectivement utilisé. Explore2070 est l'étude phare au niveau national sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau et pourtant seulement 35% l'ont finalement utilisé. Ces deux premières questions du questionnaire en ligne montrent déjà certaine limite. Tout d'abord, le retour d'expérience s'intéressera donc aux freins qui ont limité l'utilisation d'Explore2070, puis au regard des entretiens, les points forts et faiblesses de chaque lot et enfin au positionnement d'Explore2070 parmi les études prospectives sur la ressource en eau.

7.3.1. Les freins aux usages

Plusieurs facteurs majeurs ont limité l'utilisation d'Explore2070 :

- l'absence d'un site de référence rassemblant tous les résultats,
- les supports avec des données figées qui ne facilitent pas la réappropriation,
- une expérience des acteurs autour de 2010 encore réduite dans l'analyse des données simulées et dans la prise en compte des incertitudes.

Le questionnaire en ligne a donc confirmé les tendances tirées des entretiens (Figure 5). La méthode n'est pas le frein à l'utilisation, mais plutôt la manière dont les résultats ont été valorisés et diffusés.

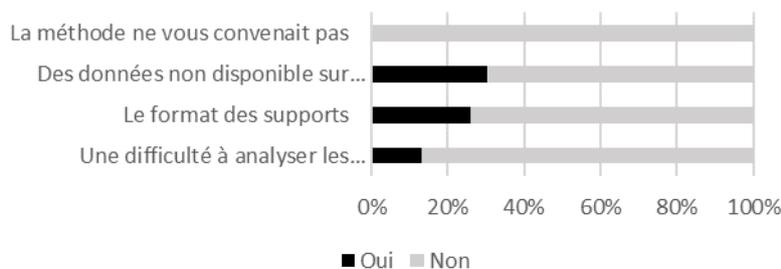


Figure 5 : Freins à l'utilisation d'Explore2070 (possibilité de cocher une ou plusieurs des quatre propositions à la question « Y-a-t-il eu des freins à votre usage d'Explore2070 ? »)

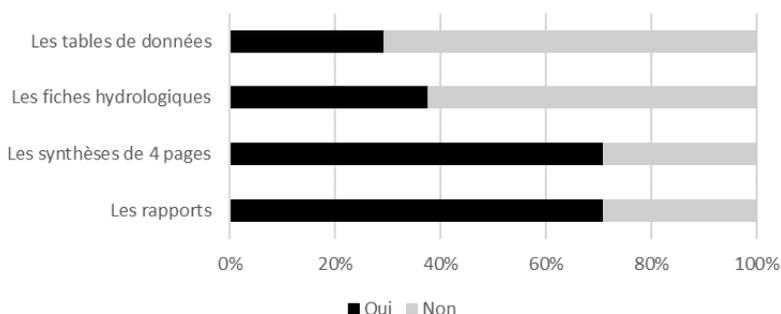


Figure 6 : Utilisation des supports (résultats du questionnaire en ligne)

La communication et l'accès aux données

Au cours des entretiens, le manque de clarté sur la communication et les supports disponibles aux utilisateurs a été rapidement abordé. A la fin de l'étude Explore2070, le ministère (à l'époque MEDDE) a rassemblé les données du projet. Il était en charge de sa diffusion. L'ensemble des rapports, synthèses de 4 pages, et cartes ont été publiés et partagés au grand public alors que les fiches hydrologiques et les données brutes étaient réservées à un public d'initiés à la suite du projet. Ce choix a limité l'utilisation des fiches hydrologiques et des données brutes. Le questionnaire en ligne, la Figure 6 confirme les conclusions tirées des entretiens.

Les rapports, les synthèses de 4 pages et les cartes ont été les supports les plus largement utilisés pour plusieurs raisons. La communication a été majoritairement orientée vers ces supports aisément accessibles en téléchargement direct, facilement interprétables, bien structurés, directement utilisables par des tiers. Ils fournissaient des tendances claires sur les évolutions possibles. Ils ont été utilisés à des fins de communication, ou dans des pré-études pour « défricher » les sujets. Un interviewé souligne que ces documents ont eu l'avantage d'être complets et adaptés aux gestionnaires non scientifiques.

Les fiches hydrologiques (Figure 7) sont les supports les moins utilisés (2 EEP, 5 SP, 1 R). Cela était, pourtant, un support conçu initialement pour des besoins opérationnels, par un bureau d'études associés à un collectif de chercheurs en hydro-climatologie. Un guide de lecture les accompagne. Aujourd'hui, elles sont publiées sur le site CARTELIE (MTES, 2016). Deux facteurs semblent avoir limité leur utilisation : une mise à disposition au public tardive (même si elles ont été produites simultanément avec le rapport de synthèse), et elles nécessitent des compétences techniques pour leur interprétation. Cependant, deux réponses contradictoires ont été relevées entre deux bureaux d'études : le premier pense que ce sont des supports adaptés pour communiquer entre bureaux d'études et élus, tandis que le second signale une vraie difficulté de compréhension du contenu de ces fiches malgré le guide de lecture. L'appropriation de ce type de support ne semble pas optimale au vue de la faible utilisation et de la difficulté de lecture exprimée par l'acteur. Une réflexion est à mener sur ce type de livrable en s'interrogeant sur le public visé par de telles fiches.

Les ensembles de données brutes ont été utilisés par sept des acteurs interviewés (4 EEP, 3 SP). Cette population représente presque la moitié de l'échantillon des entretiens semi-directifs et est constituée majoritairement des personnels des Agences de l'eau, Etablissements Publics et les structures ayant travaillé pour eux dans le cadre d'études prospectives régionales. Pour obtenir ces données, les Agences de l'eau ont signé des conventions avec le ministère. Elles ont pu ainsi partager ces données avec les territoires dans le cadre de projets.

ORDRE DE GRANDEUR DES DÉBITS FUTURS POSSIBLES À L'HORIZON 2050-2070 SOUS SCÉNARIO A1B D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Avertissement : ces résultats comportent de très nombreuses incertitudes. Ils sont donnés à titre indicatif. Il ne s'agit pas de prévisions mais d'indications d'évolutions possibles. Une note d'accompagnement contient des indications de lecture et d'interprétation de la fiche. Elle détaille de plus la méthodologie utilisée ainsi que les limites de l'exercice.

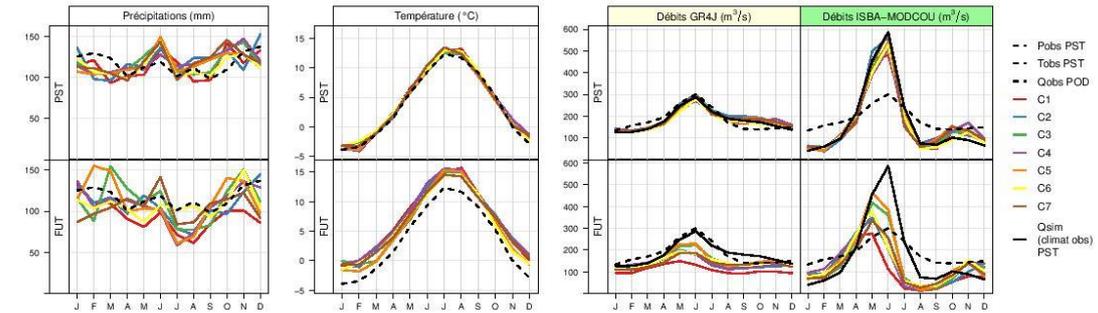
Nom **L'Isère à Grenoble [Bastille]**
 Identifiant Explore2070 **1376**
 Code Banque Hydro **W1410010**
 Surface du bassin versant **5791 km²**
 Période d'observation des débits **POD : 1962-1991**
 Période de simulation temps présent **PST : 1961-1990**
 Période de simulation temps futur **FUT : 2046-2065**
 Modèles hydrologiques utilisés **GR4J** **ISBA-MODCOU**

Les évolutions climatiques et hydrologiques sont calculées entre des simulations de référence en climat présent (1961-1990) et des simulations en climat futur (2046-2065) à partir de 7 modèles climatiques (C1 à C7). Les résultats sont présentés sous forme de Δ entre présent et futur : (FUT-PST) pour T, (FUT-PST)/PST pour P, ETP et Q. Δ minimum, Δ médian et Δ maximum sont calculés sur les 7 modèles climatiques. Selon les stations, un ou deux modèles hydrologiques ont été utilisés.



CLIMAT													
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Precipitations obs PST (mm)	125	129	123	101	112	119	101	111	98	110	132	137	1400
min (%)	-22	-16	-1	-16	-23	-31	-49	-42	-22	-20	-14	-35	-18
Δ med (%)	-2	-2	+18	+2	-11	-23	-27	-35	-12	-10	+6	-6	-9
max (%)	+20	+50	+49	+20	+6	-1	+2	-9	+8	+17	+17	+8	-4
Température obs PST (°C)	-3.9	-3.4	-1.3	1.5	5.8	9.3	12.4	11.7	9.1	5.3	0.0	-2.9	3.6
min (°C)	+2.0	+2.0	+0.6	+1.3	+1.2	+1.3	+1.1	+1.7	+1.6	+1.4	+1.1	+1.3	+1.7
Δ med (°C)	+2.6	+2.6	+2.5	+2.1	+1.8	+2.3	+2.3	+2.6	+2.2	+2.5	+2.6	+2.4	+2.3
max (°C)	+3.3	+4.2	+3.5	+3.2	+2.6	+3.0	+2.6	+3.0	+2.5	+2.9	+3.4	+2.4	+2.8
Evapotransp. potentielle obs PST (mm)	17	21	32	47	66	83	108	90	63	40	23	18	607
min (%)	-17	+10	-1	+10	+14	+9	+7	+8	+19	+19	+7	+19	+15
Δ med (%)	+26	+18	+28	+23	+20	+20	+18	+18	+28	+40	+30	+27	+20
max (%)	+31	+54	+43	+39	+30	+29	+23	+24	+34	+46	+39	+32	+28

DÉBITS																										
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel													
Qobs POD (m ³ /s)	134	157	171	194	260	301	241	170	141	130	144	149	184													
Qsim (climat obs) POD (m ³ /s)	125	36.8	126	54.2	143	103	173	208	245	448	284	582	222	251	191	81.1	179	69.2	170	99.8	155	91.2	139	66.3	179	174
min (%)	-28	+19	-26	+27	-17	+21	-15	+15	-36	-39	-51	-77	-51	-39	-46	-79	-44	-65	-42	-61	-39	-40	-34	-12	-38	-36
Δ med (%)	-15	+49	-9	+70	-5	+38	-5	+29	-13	-5	-35	-60	-32	-73	-32	-73	-30	-60	-26	-44	-18	+5	-17	+31	-24	-18
max (%)	-6	+53	-1	+136	-2	+93	+3	+62	+1	+16	-19	-28	-24	-66	-21	-25	-26	-37	-17	-12	-9	+22	-5	+40	-15	-11
Qobs POD (m ³ /s)	101	115	131	144	190	201	172	120	108	107	117	112	144													
Qsim (climat obs) POD (m ³ /s)	97.8	15.5	96	18.1	107	56.8	129	121	185	309	200	309	165	92.6	143	27.9	143	26.2	125	24.5	124	33.2	111	27.8	145	128
min (%)	-42	-5	-38	+5	-30	+43	-27	+23	-46	-68	-54	-86	-51	-85	-49	-63	-47	-56	-48	-57	-45	-53	-44	-50	-45	-45
Δ med (%)	-13	+56	-14	+57	-6	+60	-3	+44	-11	-29	-32	-66	-30	-72	-32	-57	-32	-50	-25	-37	-16	-16	-18	+1	-17	-18
max (%)	-10	+101	+1	+155	-2	+140	+0	+74	+7	+24	-17	-30	-16	-39	-18	-28	-21	-43	-17	-2	-7	+42	-6	+16	-13	-10



PERFORMANCE DES MODÈLES HYDROLOGIQUES sur la période POD														
	NSEQ	NSElnQ	NSElQ	R-QA	R-VCN30-2	R-QMNA5	R-QJXA10							
	0.72	-5.33	0.68	-7.01	0.58	-103.26	0.98	0.95	1.03	0.15	1.05	0.14	0.89	1.93

ÉTIAGES				
	VCN10	VCN30	QMNA	
Qobs POD (m ³ /s)	95.8	104	107	107
Qsim (climat obs) POD (m ³ /s)	102	9.31	107	15.5
min (%)	-40	-33	-41	-43
Δ med (%)	-23	-29	-23	-41
max (%)	-9	-10	-8	-22
Qobs POD (m ³ /s)	79	85.1	85	
Qsim (climat obs) POD (m ³ /s)	85	7.72	88.8	10.4
min (%)	-46	-33	-46	-34
Δ med (%)	-21	-29	-19	-27
max (%)	-9	-10	-9	-8
Qobs POD (m ³ /s)	71.5	76.8	75.5	
Qsim (climat obs) POD (m ³ /s)	77.3	7	80.6	8.41
min (%)	-48	-16	-49	-29
Δ med (%)	-19	-10	-18	-22
max (%)	-9	+3	-10	-17

FORTES PRECIPITATIONS			
	PJXA2	PJXA10	PJXA20
P PST (mm)	53	73	81
min (%)	-13	-10	-23
Δ med (%)	-9	-10	-10
max (%)	+2	+12	+15

CRUES				
	QJXA2	QJXA10	QJXA20	
Qobs POD (m ³ /s)	493	695	773	
Qsim (climat obs) POD (m ³ /s)	424	957	617	1342
min (%)	-47	-32	-39	-32
Δ med (%)	-31	-26	-32	-27
max (%)	-19	-4	-15	-5

OCCURENCE DES ÉTIAGES		
Qobs POD	déc.	
Qsim (climat obs) POD	fév.	janv.
min (jours)	-145	-143
Δ med (jours)	-42	-48
max (jours)	-6	-20

DÉBITS CLASSÉS			
	Q95	Q10	
Qobs POD (m ³ /s)	90	314	
Qsim (climat obs) POD (m ³ /s)	91	8.83	284
min (%)	-45	-35	-35
Δ med (%)	-18	-31	-28
max (%)	-7	-19	-16

OCCURENCE DES CRUES		
Qobs POD	juin	juin
Qsim (climat obs) POD	juin	juin
min (jours)	-60	-39
Δ med (jours)	-30	-26
max (jours)	+21	-9

Figure 7 : Exemple de fiche de synthèse

Deux bureaux d'études (2 SP) interrogés ont eu accès aux données via les Agences de l'eau. Un seul bureau d'études a récupéré les données auprès de l'AFB (1 SP). En raison des difficultés pour les obtenir, les données brutes semblent avoir été peu utilisées par les collectivités. Cette hypothèse est confirmée par deux bureaux d'étude.

Les résultats sont présentés sur des supports figés qui ne permettent pas aux utilisateurs de zoomer aisément sur leur territoire comme, par exemple, les cartes nationales au format PDF.

Ces supports figés sont un frein à une utilisation locale des données. Une personne interviewée présente lors de la réalisation d'Explore2070 notait que les formats de restitution et la transmission de l'information n'avaient pas été clairement définis en amont de l'étude. Une consultation des futurs utilisateurs en préalable à la rédaction du CCTP aurait donc peut-être permis d'améliorer la valorisation d'Explore2070.

De plus, Explore2070 a manqué d'un site de référence facilitant l'accès aux données produites. L'ensemble des productions était initialement au MEDDE. L'information est aujourd'hui sur le site de l'OFB (OFB, MTES, n.d). Ce changement de site de diffusion a été un frein à l'utilisation et à la visibilité de l'étude.

Les incertitudes : une volonté des scientifiques qui aurait nécessité un accompagnement

Lors de la réalisation d'Explore2070, les scientifiques ont eu la volonté de promouvoir une approche multi-modèles. Les méthodes multi-modèles permettent dans une certaine mesure de représenter les incertitudes liées aux projections hydro-climatiques (Chazot et al., 2012 ; Chauveau et al., 2013). Ce choix scientifique a été bien accepté par les acteurs interviewés. Au cours de leurs actions de sensibilisation et de communication, ils ont fait l'effort de conserver la dispersion des résultats fournis par les modèles climatiques et hydrologiques. Ils remarquent également que les élus apprécient ce choix de transparence des scientifiques.

Cependant, malgré cette sensibilisation efficace sur les incertitudes et leur importance, les acteurs formulent une difficulté à s'en ressaisir dans le cadre de leur projet. Les résultats du questionnaire en ligne ont confirmé cette conclusion des entretiens : 65% des interrogés ont jugé être en capacité d'analyser les incertitudes. Certains acteurs attendent des informations plus claires sur la façon dont les incertitudes doivent être communiquées et utilisées pour accompagner la prise de décision. Lors de la publication d'Explore2070, les acteurs n'étaient pas formés à l'analyse des incertitudes. De plus, les élus n'avaient pas encore été sensibilisés aux impacts du changement climatique et à la nécessité de mettre en place des stratégies d'adaptation face au changement. Les entretiens révèlent cependant que les résultats sur les incertitudes ont été fortement utilisés pour des actions de sensibilisation et de communication.

Les acteurs, ayant participé aux entretiens, sont unanimes sur l'importance de conserver les incertitudes dans une nouvelle étude. Cependant, de nombreux acteurs demandent à être mieux formés sur l'analyse et la gestion des incertitudes.

7.3.2. Des lots inégalement valorisés

Les lots d'Explore2070 concernent différentes thématiques. Le lot 3 : « Hydrologie- Ecoulement de surface » a un rôle structurant de fournir de la donnée climatique et sur l'évolution de l'hydrologie de surface aux autres lots. Les entretiens confirment le rôle central de ce lot. Il est tout de même important de rappeler que l'échantillon d'interviewés est constitué majoritairement de gestionnaires/ingénieurs/chercheurs travaillant sur de la gestion quantitative.

Le questionnaire en ligne a permis de mettre clairement en évidence ces différences d'utilisation entre les lots (Figure 8, N.B. : le découpage ne correspond pas à celui du cahier des charges d'Explore2070 mais à celui de la page web dédiée sur le site de l'OFB (AFB, MTES, nd)). Les lots sur la climatologie et l'hydrologie sont majoritairement utilisés (ils correspondent à un seul lot sur le CCTP d'Explore2070) et en second de position le lot sur l'hydrologie souterraine. Les autres lots ont été beaucoup moins utilisés.

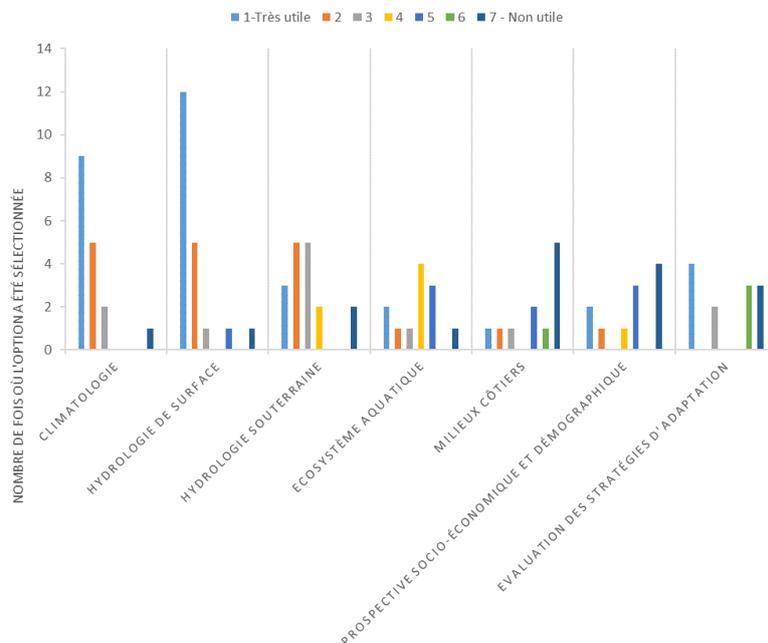


Figure 8 : Utilisation des lots (en réponse à la question "Quels lots avez-vous utilisés ?", les acteurs pouvaient classer les lots de 1 à 7 en fonction des leurs utilisations sans obligation de classer tous les lots)

L'analyse suivante se base exclusivement sur les résultats des entretiens semi-directifs. Ils ont cherché à approfondir cette question de la valorisation et les causes qui ont pu limiter la valorisation de certains lots.

Le lot sur le climat et l'hydrologie de surface : le lot le mieux valorisé

Au-delà d'être le lot structurant d'Explore2070, les interviewés apprécient largement le choix d'avoir appliqué une méthode homogène à l'échelle nationale (2 EEP, 2 SP). Cette production a, notamment, permis aux Agences de l'eau de se baser sur une donnée homogène à l'échelle de leur bassin de gestion pour alimenter les Plans d'Adaptation au Changement Climatique. De plus, les données homogènes facilitent la communication et l'élaboration de cartes nationales qui permettent de comparer facilement et de manière légitime les territoires entre eux.

Des interviewés relèvent tout de même une différence de qualité entre les points de calcul (2 EEP). Dans certains cas, un seul modèle hydrologique est appliqué au point de calcul ; dans d'autres cas, la différence entre les modèles est forte et aurait mérité une explication. De plus, les points de calcul choisis ne sont pas forcément connectés aux besoins des territoires, c'est-à-dire qu'ils ne correspondent pas toujours à des exutoires de bassin versant utilisés par les acteurs pour construire les SAGE ou plans de gestion (2 EEP, 1 SP), par exemple. Enfin, certaines régions sont dépourvues de point de calcul (2 EEP, 2 SP). L'ensemble de ces facteurs peuvent limiter l'utilisation de données localement.

Les indicateurs proposés par ce lot n'ont pas tous été utilisés de manière égale. Les variables majoritairement utilisées sont : la température, les précipitations, l'évapotranspiration potentielle et certains débits caractéristiques. Les indicateurs sur les crues ou les étiages (ex. le débit réglementaire QMNA5) ont été peu utilisés : soit parce que les évolutions présentaient trop d'incertitude, soit le biais de simulation sous climat actuel (ex. écarts entre les débits caractéristiques simulés par les modèles d'Explore2070 et ceux observés localement en temps passé) était jugé trop important pour être acceptable par les acteurs locaux. Ils ont donc jugé que les informations fournies, en temps futur, ne permettaient pas la prise de décision.

Les autres lots : une valorisation hétérogène...

Les autres lots d'Explore2070 ont été globalement moins utilisés. Plus spécifiquement :

- *L'hydrologie souterraine* a proposé des résultats hétérogènes (applications de différents modèles en fonction des régions) sur le territoire national, ce qui a limité son utilisation (2 EEP, 1 SP, 1 R). De plus, la prise en compte des prélèvements a nui à l'acceptabilité locale des résultats de l'étude (2 EEP) car les acteurs locaux n'ont pas été consultés. Ce fait confirmé par plusieurs interviewés montre la nécessité d'impliquer les acteurs locaux dans l'élaboration d'une telle étude surtout lorsque les impacts anthropiques sont pris en compte. Finalement, l'usage majeur de ce lot fut la communication et la sensibilisation.
- *La biodiversité* : la valorisation majeure de ce lot fut l'ouvrage : « Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique » (Baptist et al., 2014). Il a réutilisé une partie des résultats

d'Explore2070 (2 EEP). Ce lot est aussi utilisé à des fins de communication et de sensibilisation (2 EEP, 2 SP). Un gestionnaire nous confiait ne pas avoir été convaincu par la méthode appliquée par ce lot.

- *Les milieux côtiers* : ce lot a été utilisé pour des actions de communication et de sensibilisation (1 SP).
- *La prospective : scénarios d'évolution démographique et socio-économique* : ce lot n'a pas été utilisé par les acteurs car ils ne répondaient pas strictement à leurs besoins. Les acteurs préfèrent utiliser des données produites localement sur les évolutions démographiques et socio-économiques (SCOT par exemple) pour des raisons d'acceptabilité locale de l'étude.

Pour conclure, le lot 3 sur l'hydrologie de surface est le lot majeur de cette étude pour deux raisons : il a produit les données climatiques et des données homogènes nationalement (même méthode sur tous les territoires) sur l'hydrologie de surface. En raison de l'hétérogénéité spatiale des résultats, le lot 4 sur l'hydrologie souterraine a été moins utilisé. Les autres lots n'ont finalement été que très peu utilisés par les acteurs pour plusieurs raisons : les méthodes appliquées n'ont pas convaincu, les données n'étaient pas homogènes sur le territoire ou ils présentaient des études de cas. Finalement, il semble nécessaire que les méthodologies appliquées soient à la fois approuvées par les scientifiques et par les utilisateurs finaux qui doivent être convaincus par les résultats pour favoriser l'utilisation des données. Néanmoins, ces lots ont pu être utilisés à des fins de communication, de sensibilisation et comme référence bibliographique par un grand nombre d'acteurs, dans le cadre de leur projet de territoire.

7.3.3. Le positionnement d'Explore2070 vis-à-vis des services climatiques et des études prospectives sur le ressource en eau

DRIAS ^{les futurs du climat}, un outil complémentaire largement utilisé

Le point de vue présentée ci-dessous est uniquement représentatif des entretiens semi-directifs. Dans les réponses du questionnaire en ligne DRIAS ^{les futurs du climat} n'est pas évoqué explicitement.

Le site DRIAS ^{les futurs du climat} a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées sur la métropole et l'outre-mer par les équipes de recherche françaises du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME) (Météo-France, CERFACS, Institut Pierre Simon Laplace, 2011) à partir des simulations globales du GIEC. Ce service propose trois espaces d'appropriation des données suivant le niveau d'expertise de l'utilisateur. Le site reçoit environ 60 000 visites avec plus de deux millions de pages vues par an (source : Météo-France). Les utilisateurs peuvent télécharger cartes et données, sur ces espaces.

Cette plateforme est utilisée par la majorité des acteurs interrogés pour l'extraction de données climatiques (2 EEP, 4 SP, 1 C, 1 R). De par son format, elle facilite la réappropriation des données. Elle est utilisée parallèlement à Explore2070. Cependant, DRIAS ^{les futurs du climat} met uniquement à disposition que des données climatiques alors qu'Explore2070 fournit des données climatiques et hydrologiques.

Le format de DRIAS ^{les futurs du climat} semble être plébiscité par les utilisateurs pour récupérer les données climatiques (provenant des différentes simulations et notamment des données climatiques d'Explore2070).

L'utilisation de données locales pour une meilleure acceptation

La frise présentée en Figure 9 montre qu'Explore2070 a été le support scientifique et technique d'autres études prospectives locales.

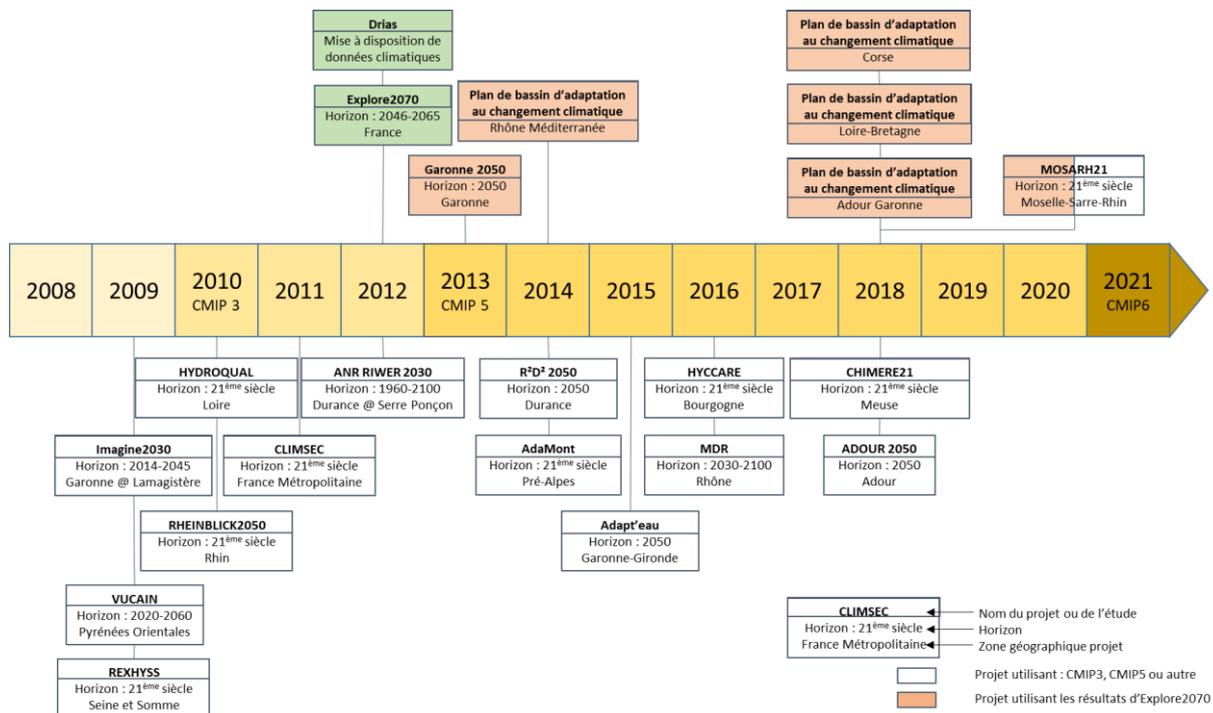


Figure 9 : Chronologie d'études prospectives réalisées sur des territoires de France métropolitaine

Les utilisateurs d'Explore2070 notent la complémentarité de cette étude avec d'autres études prospectives sur la ressource en eau par exemple : « Recharge : réponse des eaux souterraines au changement climatique dans le bassin Adour-Garonne » (BRGM, 2018) ; AdaMont (Arlot, 2019) ; « Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine » (AcclimaTerra, 2018), etc. Explore2070 demeure la référence nationale car elle fournit des résultats sur l'ensemble du territoire français et offre la possibilité de comparer les évolutions sur différents territoires et de vérifier la cohérence des études réalisées localement avec l'échelon national.

Toutefois au cours des entretiens, il a été souligné que les études réalisées sur des territoires produisent de l'information locale à la fois mieux acceptée par les élus et plus en phase avec des problématiques locales. Les élus ont une plus grande confiance en ces études régionales de par leur seule implication et jugent les études ministérielles déconnectées des réalités locales. Les études locales sont à la fois utiles aux acteurs locaux pour la compréhension de leur territoire. Une personne interviewée souligne le manque de visibilité de toutes ces études et suggère la publication d'une liste nationale de toutes les études prospectives sur la ressource en eau, pour partager les expériences.

Cette enquête confirme l'interdépendance entre une étude nationale et des études locales. Elles se complètent. Tous les territoires n'ont pas fait réaliser des études à leur échelle et n'en ont pas les moyens techniques et financiers. Une étude nationale est donc nécessaire pour garantir un accès à la donnée à tous. Les acteurs soulignent l'importance d'une production de données acceptées par tous les échelons décisionnaires afin de limiter les discussions autour de la validité de celle-ci. Les discussions s'orienteront ainsi plus rapidement vers des questions opérationnelles : élaboration d'une prospective sur l'eau et la planification.

Conclusion :

Explore2070 est une étude pionnière qui fait référence mais dont l'utilisation reste limitée pour plusieurs raisons. La communication a été restreinte. Les supports choisis, bien qu'en libre accès, n'ont pas permis une bonne appropriation. En effet, les produits n'avaient pas été définis préalablement et ils sont figés. La notion d'homogénéité de la méthode appliquée à l'échelle nationale semble un facteur déterminant à l'utilisation d'une telle étude. La participation des acteurs locaux apparaît comme indispensable pour l'acceptabilité des résultats de l'étude. Enfin son utilisation future sera catalysée par la capacité des scientifiques à fournir un accompagnement.

7.4. Dans le cadre d'une nouvelle étude prospective nationale, quels sont les besoins et attentes des gestionnaires ?

Le changement climatique est désormais une réalité acceptée. Les territoires sont donc en attente de données sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau.

Régulièrement, le GIEC publie des rapports sur les travaux mondiaux sur le changement climatique. Des études sont faites régulièrement au niveau local. Dans un contexte d'évolution rapide des connaissances sur le changement climatique, quelle est la durée de validité des études prospectives ? Les chercheurs et les opérationnels ont chacun un avis sur cette durée. Sont-ils pour autant demandeurs d'une réactualisation d'Explore2070 ? Quels sont leurs attentes et besoins ?

L'enquête réalisée permet de connaître le point de vue opérationnel sur ces questions. Tout d'abord, les acteurs se sont exprimés sur leur besoin d'une nouvelle étude puis sur le contenu scientifique souhaité. Nous chercherons à mesurer les besoins en expertise nécessaire pour l'utilisation des données. Le questionnaire est venu en appui pour confirmer les premières conclusions tirées des entretiens.

7.4.1. Le secteur a-t-il réellement besoin d'une nouvelle étude comme Explore2070 ?

A cette question, le questionnaire en ligne a récolté 99% de réponses favorables à la production d'une nouvelle étude prospective nationale sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau. De même, lors des entretiens semi-directifs, une majorité des interviewés, utilisateurs d'Explore2070, s'est prononcée pour une réactualisation (6 EEP, 1 R, 4 SP parmi les utilisateurs d'Explore2070).

Les résultats d'Explore2070 sont obsolètes : il est l'heure d'actualiser l'exercice et suivre les évolutions scientifiques.

Quatre raisons favorables à l'actualisation sont importantes à noter :

- Explore2070 doit être actualisé pour suivre les évolutions scientifiques et notamment les publications du GIEC. Cette étude a utilisé les résultats du 3^{ème} rapport d'évaluation (GIEC AR3). Le sixième rapport est attendu pour le printemps 2021. Les rapports du GIEC sont très médiatisés. Lors des entretiens, les gestionnaires faisaient remarquer que les élus posent la question de savoir si les résultats d'Explore2070 sont toujours pertinents au regard des nouveaux rapports du GIEC.
- Les acteurs interrogés font remarquer qu'il y a eu des évolutions des scénarios d'émission de gaz à effet de serre et des modèles qu'ils soient climatiques ou hydrologiques. La question se pose de savoir : quels impacts ces améliorations vont avoir sur les résultats ?
- Des acteurs notent que de nombreuses initiatives locales naissent sur les territoires (3 EEP). Aucune donnée n'est facilement accessible aujourd'hui. Ces territoires risquent donc de construire des stratégies sur des « morceaux » d'études de fait hétérogènes car extraits de différentes études prospectives. La publication d'une nouvelle étude de type Explore2070 permettrait de mettre à disposition des données validées scientifiquement et homogènes sur le territoire national. Les territoires auront donc une donnée fiable pour réaliser leur projet, ce qui permettra d'éviter certaines erreurs.
- Les acteurs demandent également la production d'indicateurs adaptés aux besoins des opérationnels. Cette demande est fortement liée à la thématique des événements extrêmes.

Le questionnaire en ligne a permis de confirmer et hiérarchiser les besoins. La Figure 10 montre que la production d'indicateurs adaptés et l'actualisation des données sont les paramètres les plus importants pour les acteurs. La méthode de production de la donnée et la résolution spatiale de celle-ci semble moins importantes pour les acteurs, peut-être parce qu'il s'agit d'aspects techniques un peu plus éloignés du cadre opérationnel.

Les acteurs se sont fortement exprimés dans un encart. Ils soulignent l'importance d'améliorer la communication et la visibilité des résultats dans le cas d'une nouvelle étude.

Au-delà des aspects techniques liées à la réalisation d'Explore2070, les acteurs se projettent déjà sur les usages qu'ils pourraient faire de cette étude : aider dans les préconisations des PPRI, prévoir les futures tensions sur la ressource pour planifier les évolutions des usages, sensibiliser les industriels à une évolution probable des autorisations de rejet et prélèvement, etc. La caractérisation des utilisations potentielles de la donnée produite par l'étude peut : permettre aux scientifiques de mieux cibler les résultats à produire et préciser les limites des résultats pour éviter des usages inadaptés.

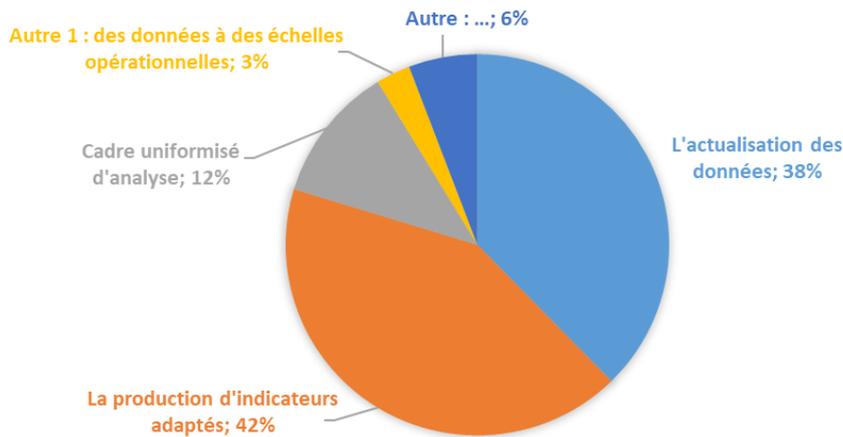


Figure 10 : Réponse à la question les points de vigilance d'une nouvelle étude

L'enjeu est-il vraiment dans la production de nouvelle donnée, ne faut-il pas concentrer les efforts sur l'accompagnement ?

Trois personnes interrogées remettent en question la nécessité d'actualiser Explore2070. Ils se demandent si les changements projetés et les incertitudes ne vont pas varier de quelques pourcents seulement par rapport à ceux d'Explore2070 (1 EEP, 1 SP, 1 R).

A ce titre, deux acteurs se rejoignent sur l'idée que les efforts devraient peut-être se concentrer sur la sensibilisation, la valorisation, et le développement d'une expertise. Leur proposition ne s'oriente pas vers une actualisation des résultats mais une évolution des outils de valorisation et de l'expertise pour améliorer les actions et la prise de décision. L'essentiel est donc selon eux de développer l'accompagnement pour que les résultats soient utilisés au mieux et avec une prise de recul suffisante pour que les décideurs puissent faire des choix en ayant toutes les cartes en main.

Un enjeu actuel de stimuler et structurer les initiatives dans ce secteur

Les acteurs interrogés sont globalement tous d'accord sur le besoin de faire évoluer la prise en compte du changement climatique. Même si les objectifs d'une nouvelle étude divergent entre acteurs, une étude de type Explore2070 permet de disposer d'évolutions chiffrées de la ressource, ce qui permet de passer d'un traitement qualitatif (« les températures vont augmenter ») à un traitement quantitatif (« la ressource estivale devrait diminuer entre X et Y% sur le territoire par rapport à la période de référence 1981-2010 »). Sous réserve d'un libre accès aux données, les prospectives nationales dynamisent les initiatives locales de mise en œuvre de stratégies dans les territoires (1 EEP, 1 SP).

7.4.2. Quelles évolutions de contenu pour une nouvelle étude de type Explore2070 ?

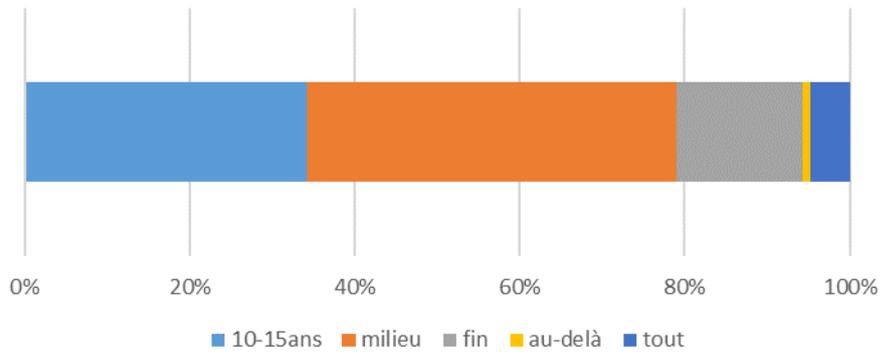
Les acteurs ont exprimé un besoin autour de l'actualisation d'Explore2070. Cette partie s'attachera à présenter leurs attentes en termes de contenu sur le climat et l'hydrologie, les nouvelles thématiques qu'une nouvelle étude pourrait traiter. Et enfin, elle s'attachera à faire un bilan des « indicateurs » demandés.

Une amélioration des résultats produits

Les acteurs ont peu utilisé les lots 5, 6 et 7 comme la première partie de chaque entretien l'a révélé. Lorsque les entretiens se dirigeaient vers les nouveaux contenus, la discussion s'orientait essentiellement sur le climat, l'hydrologie de surface et souterraine.

Les besoins climatiques :

- **Horizon** : les acteurs se projettent essentiellement à l'horizon pour lequel ils prévoient leur aménagement c'est-à-dire de 30-60 ans (3 EEP, 3 SP, 1 R). C'est le paramètre le plus important et qui influencera majoritairement l'utilisation des données. Un horizon plus lointain à la fin du siècle par exemple sera utilisé pour des actions de communication et de sensibilisation (4 EEP). Le questionnaire en ligne (Figure 11) confirme la volonté des acteurs d'avoir accès à des données dans un horizon proche 10-15 ans et le milieu du siècle.



- **Scénario** : Le choix d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre est peu discriminant à l'horizon 2050, selon les interviewés. Au-delà du milieu du siècle, ce choix conditionne fortement l'évolution du climat. Si des résultats sont proposés à un horizon de fin de siècle, des simulations sous plusieurs scénarios sont attendus. Le questionnaire en ligne confirme qu'il n'y a pas une forte attente pas rapport à un scénario (Figure 12). Les scénarios dit « médians » ont tout de même été les plus choisis : 2°C ; 2,6°C et 4,5°C.

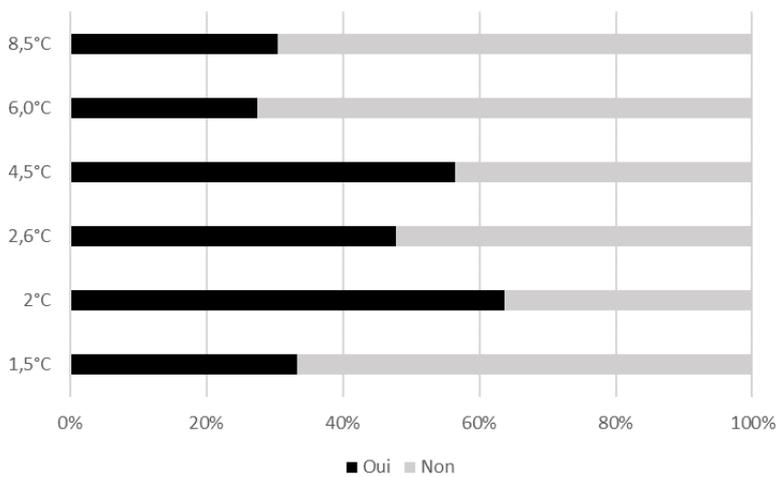


Figure 12 : Scénario climatique attendu (les acteurs avaient la possibilité de choisir plusieurs options)

- **Pas de temps** : plusieurs échelles de temps ont été proposées au cours des entretiens : jour, décennie, mois, an. Le questionnaire en ligne (Figure 13) permet de cibler les résolutions temporelles voulu par les acteurs. Les besoins sont majoritairement ciblés sur des pas de temps mensuels et annuels.

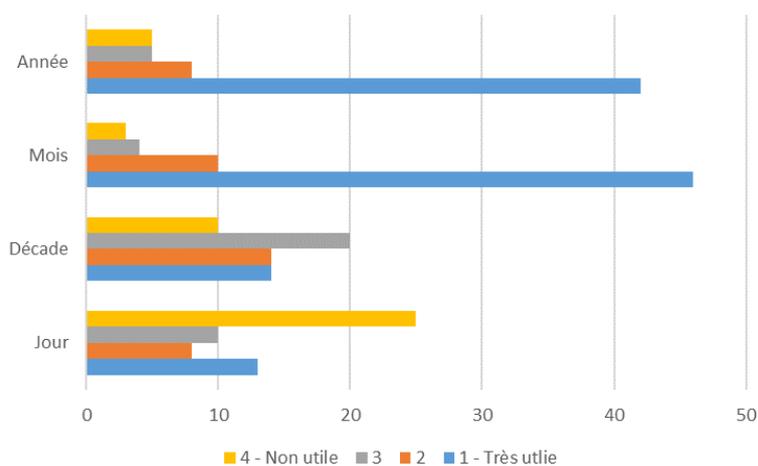


Figure 13 : Résolution temporelle souhaitée par les acteurs

- **Variabilités climatiques** (1 SP, 1 R) : aujourd'hui les études fournissent des images du futur sans mettre en exergue la variabilité interannuelle du climat, qui inclut également la variabilité à des échelles plus courtes (variabilité décennale).

Les besoins en données hydrologiques :

- **Maillage spatiale** : le maillage actuel des points de calcul, où sont fournies les informations sur l'hydrologie, correspondent majoritairement aux stations hydrométriques. Ces stations de mesure n'ont pas nécessairement de lien avec les exutoires définis dans les SAGE ou autres documents de planification. De ce fait, quelques acteurs interrogés proposent qu'une nouvelle étude nationale travaille à une meilleure concordance entre les points de calcul et les exutoires utilisés par les acteurs locaux. Cette demande a été confirmée par le questionnaire en ligne en Figure 14. De plus, il a été soulevé que les territoires sont traités inégalement en termes de modélisations hydrologiques : certaines fiches de synthèse ne font apparaître qu'un seul modèle, les résultats des modèles sont très différents ou certaines régions sont « vides » (sans station de mesure, donc sans point de calcul). Des acteurs interrogés insistent sur la notion d'homogénéité (2 EEP, 3 SP). Les territoires devraient donc être traités avec une méthode similaire en tout point de calcul.

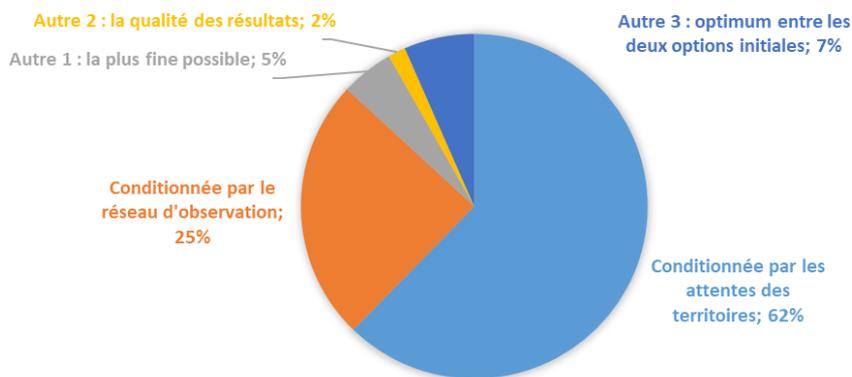


Figure 14 : La résolution spatiale attendu (les acteurs avaient la possibilité de ne choisir que l'un des deux options ou autre)

- **Hydrologie de surface** : les acteurs insistent sur l'importance d'appliquer une méthodologie homogène.
- **Hydrologie souterraine** : la première demande sur l'hydrologie de souterraine est de traiter de façon homogène l'ensemble du territoire. Il est important pour les acteurs de fournir des résultats qui ne prennent pas en compte les impacts anthropiques (voir « Les impacts anthropiques » ci-dessous).
- **Température de l'eau** : ce sujet n'était pas abordé naturellement par les acteurs interrogés (au contraire des extrêmes). Mais une fois abordée, cette thématique est rapidement saisie par les acteurs. Ils se projettent dans l'utilisation possible de cette donnée. Ce type d'indicateurs pourrait être utilisé dans le cadre de projet sur l'évolution de la qualité eau, de la biodiversité, en lien avec les débits objectif d'étiage et pour l'eau potable.
- **Les impacts anthropiques** : la prise en compte des effets anthropiques limite l'utilisation des résultats. Les acteurs préfèrent évaluer ces impacts localement. Si les effets anthropiques sont évalués sans l'implication forte des acteurs locaux, les résultats produits sont remis en cause localement. Cependant, certains acteurs souhaitent que les impacts anthropiques soient pris en compte même s'ils précisent que les résultats seront rediscutés localement. Ils sont intéressés par la méthodologie appliquée pour évaluer l'évolution des prélèvements qui pourra être réappropriée et réappliquée pour une application locale.
- **Analyses sur le passé** : deux acteurs ont demandé à ce qu'un nouvel Explore2070 fournisse également des analyses en temps passés afin de comparer le futur et le passé. Ces informations seraient notamment utilisées pour des actions de sensibilisation.

Une nouvelle thématique à traiter : les événements extrêmes.

Une majorité des acteurs interrogés font remonter une demande forte des décideurs qui souhaitent des précisions sur l'évolution des événements extrêmes. Au cours des entretiens, la thématique des événements extrêmes, et notamment des crues, était en général abordée rapidement par les interviewés. Cela révèle les forts enjeux et attentes des gestionnaires sur les risques d'inondation. Les thématiques des sécheresses, de l'enneigement et des glaciers ont été moins souvent abordées.

Crues (4 EEP, 3 SP, 1 C) : Les entretiens montrent que les acteurs ont de fortes attentes sur

cette thématique. Les indicateurs fournis actuellement sont peu utilisés et présentent de fortes incertitudes. Les enjeux liés à cette thématique en font une thématiques clef. Bien conscients de la difficulté liée à la quantification de l'évolution des crues, les acteurs précisent que si des informations sont fournies sur des évolutions possibles des crues, il faut que les scientifiques jugent l'information pertinente et fiable. Il a été proposé de créer un module sur les pluies extrêmes et des crues dès le début du projet pour bien montrer sa spécificité.

Sécheresses (2 EEP, 3 SP) : Les sécheresses ont de forts impacts notamment sur l'agriculture. Les acteurs attendent des indicateurs plus précis que ceux produits par Explore2070. En lien avec la caractérisation des étiages, des indicateurs sur l'évaporation (2 EEP, 1 C, 1 R) et l'évapotranspiration sont attendus notamment pour évaluer l'intérêt des projets de transferts d'eau et de retenues. De plus, la question se posera certainement de redéfinir les débits objectif d'étiage, il sera donc important pour les acteurs de connaître précisément les étiages futurs.

L'enneigement et glacier (1 EEP, 1 SP) : Les acteurs travaillant ou ayant travaillé dans des zones de montagne proposent de créer une partie sur la neige et les glaciers qui traite de façon homogène les massifs montagneux français. Cette thématique aurait notamment pour objectifs d'aborder l'évolution des glaciers et de la limite pluie/neige.

Vers des indicateurs opérationnels

Les indicateurs ou les thèmes listées ci-dessous ont été rassemblés au cours des entretiens et du questionnaire en ligne. Les indicateurs ne sont pas classés en fonction du nombre de demandes. La volonté est ici de faire un tour d'horizon de toutes les demandes récoltées lors cette enquête. Plusieurs acteurs suggèrent que les indicateurs soient co-construits avec les utilisateurs finaux.

Au-delà de la seule production d'indicateurs, il a été demandé d'accompagner les indicateurs de méthodes d'analyse.

Le panel d'utilisateurs interrogés étant large les propositions faites touchent des thématiques qui peuvent paraître annexes (Tableau 4). Les bureaux d'études réalisant des études d'impact sont également demandeurs d'informations sur le vent et l'ensoleillement dans le cadre de développement d'énergie renouvelable, ou sur l'évolution des saisons qui rythment les campagnes de terrain.

7.4.1. Développer une expertise au service de la « bonne adaptation »

L'expertise doit encore être développée au sein des acteurs. Une forte demande sur cette thématique a été exprimée régulièrement dans les entretiens. Les acteurs et gestionnaires attendent une transmission des compétences développées par les chercheurs vers l'opérationnel sur cette thématique.

Les risques d'un manque de données homogènes à l'échelle nationale

Les études prospectives sur l'impact du changement climatique étaient jusqu'à aujourd'hui réalisées sur de grands territoires ou dans le cadre de projet de recherche. Les territoires de plus petite échelle, tels le bassin versant, le sous bassin versant, le périmètre administratif d'une collectivité ou d'une intercommunalité (territoires d'action d'EPTB ou d'autres établissements administratifs), commencent à réaliser des études prospectives sur l'impact du changement climatique (2 EEP). Ils n'ont souvent pas de compétences dans ce domaine qui est nouveau. Au cours des entretiens, des acteurs expriment des craintes sur le mauvais usage qui peut être fait des données et du manque de disponibilité de données récentes et validées. En conséquence, les structures risquent donc de rassembler des données venant de différentes études réalisées avec des méthodes différentes (1 EEP). Ces études basées sur des données hétérogènes pourraient amener à des conclusions erronées.

La publication d'une nouvelle étude prospective nationale qui fournit des données homogènes sur le territoire français permettra de fournir une donnée validée scientifiquement.

Une évolution de la valorisation

Une majorité des acteurs interviewés sont demandeurs d'une évolution du format de restitution des données (5 EEP, 3 SP, 2 R). Les supports de restitution figés proposés par Explore2070 ont limité leurs utilisations par les acteurs locaux. Cette nouvelle valorisation pourrait prendre la forme d'un outil de téléchargement des données (3 EEP, 2 SP, 2 R). Certains acteurs interrogés proposent un rapprochement (2 SP) ou au moins une cohérence (1 SP) entre DRIAS ^{les futurs du climat} et une nouvelle étude de type Explore2070, pour une utilisation des deux outils en parallèle. Elle

doit assurer un libre accès aux données produites afin de dynamiser les initiatives (1 EEP, 2 SP).

Le questionnaire en ligne n'apporte pas une information claire sur le besoin des acteurs (Figure 15).

Tableau 4 : Bilan des indicateurs demandés par les acteurs interrogés au cours de l'enquête.

Thématiques	Indicateurs sur :
Climatologie	Température
	Canicule (ex : nb jour anormalement chaud)
	Evapotranspiration et évaporation (lac, réserve d'eau)
	Ensoleillement
	Vent (ENR)
	Pluviométrie : fréquence, durée, intensité
	Limite pluie/neige
	Evolution des saisons
Hydrologie de surface	Régime interannuel (annuels, mensuels)
	Module
	Débits moyens (mensuels, ratio actuel/futur)
	Niveau maximum et minimum
Hydrologie souterraine	Piézométrie (décade, moyen, mensuelle, annuel, décennaux)
	Recharge des nappes en lien avec la pluviométrie : pluie efficace/utile
Evénements extrêmes	Régime des crues, des étiages
	Période de retour (pluies, crues) : 2, 10, 50, 100ans
	Débit de pointe
	Débit moyen sur les périodes d'étiages (VCNd)
	Basse eaux réglementaire (QMNA5)
	Début fin d'étiage
	Etat de stress hydrique, sécheresse
Qualité de l'eau	Température de l'eau (cours d'eau et plan d'eau)
	Multi paramètre (ex : potabilité)
	Eutrophisation
Impact anthropique	Prélèvements et rejet (objectif)
	Bilan besoin/ressources
	Socio-économie et démographie pour permettre la réalisation de scénarios multi-facteurs

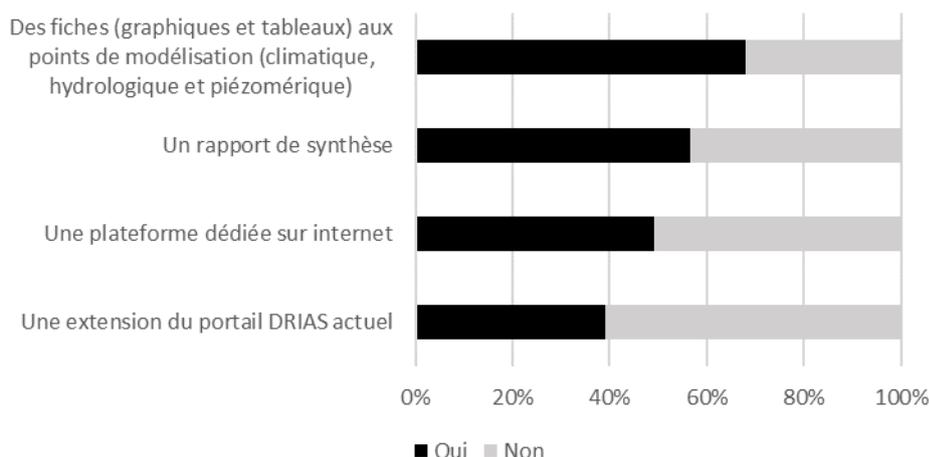


Figure 15 : Support spécifique de diffusion attendu (en réponse à la question "Quel type de support serait le plus adapté à votre utilisation ?" avec la possibilité de sélectionner une ou plusieurs proposition)

La rubrique « Autre » de cette question confirme que les besoins sont larges et ils dépendent des missions de chaque acteur. Il est proposé dans cette section :

- d'offrir la possibilité au utilisateur de faire des zooms à l'échelle de territoire,
- de proposer des fiches de synthèse vulgarisées pour les décideurs et élus,
- de proposer des documents « grand public » illustrés,
- de créer des animations vidéos.

Un nouvel Explore2070 doit d'avantage penser le format dans lequel l'étude transmettra la donnée produite aux acteurs pour qu'elle soit accessible et facilement exploitable mais aussi définir le public visé pour construire une étude adaptée.

Un besoin d'une expertise sur le traitement du changement climatique

Une majorité des acteurs exprime le besoin de méthodes pour analyser les données produites sur le changement climatique. Ces demandes sont formulées de différentes manières : une méthodologie, une ingénierie, un guide de bonne pratique, de l'accompagnement ou des formations (2 EEP, 4 SP, 2 C, 2 R). Les entretiens montrent que la publication d'un nouvel Explore2070 doit inclure des actions d'accompagnement pour ce qui concerne l'analyse et le traitement des données.

Le manque de méthodologie et d'ingénierie dans ce domaine sont les causes d'une grande disparité dans les cahiers des charges publiés par les collectivités pour des études sur l'adaptation et dans les méthodes proposées par les bureaux d'études en réponse aux appels d'offres. L'homogénéisation des méthodes par la publication d'un guide permettra de cadrer les usages faits des données.

Les incertitudes semblent être un frein majeur à l'exploitation de ce type d'études prospectives. Plusieurs acteurs sont donc demandeurs d'une acculturation et de formation sur leurs analyses afin de créer une expertise sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau.

Le questionnaire en ligne (Figure 16) n'apporte finalement pas de réponse claire sur les besoins des utilisateurs. La construction d'une étude répondant aux besoins de tous semble complexe car chaque utilisateur exprime des besoins différents en fonction de son secteur d'activité (industrie, agriculture, etc.).

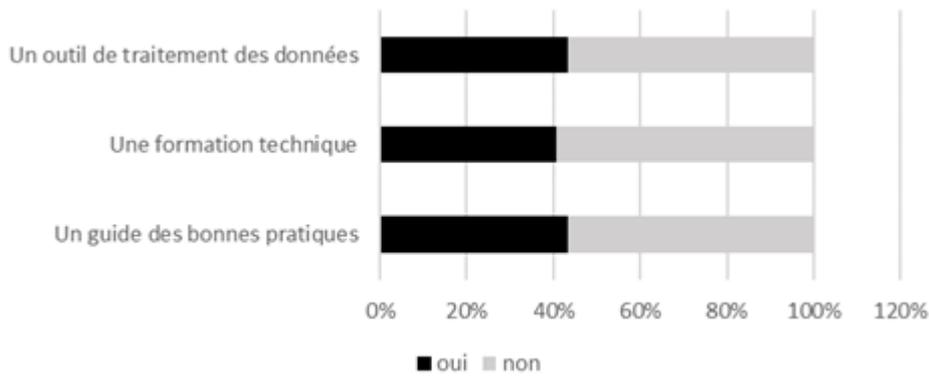


Figure 16 : Format de l'accompagnement (en réponse à la question "Quels formats cet accompagnement devrait-il prendre pour répondre à votre besoin?" avec la possibilité de sélectionner plusieurs options)

Conclusion :

Les acteurs sont dans l'attente d'un nouvel Explore2070. Conscients des évolutions scientifiques, ils ressentent un besoin d'une étude nationale actualisée de référence. Malgré les réserves exprimées par quelques acteurs, ils expriment tous la nécessité de faire évoluer cette thématique vers de nouveaux horizons temporels. Le contenu scientifique doit s'adapter aux évolutions scientifiques et élargir son offre en termes d'indicateurs. Au-delà du contenu scientifique sur l'impact du changement climatique, il est nécessaire de penser la transmission de l'étude. Elle doit être en libre accès pour que chaque territoire puisse utiliser une donnée scientifiquement validée. Elle doit penser à son format de restitution pour que les acteurs puissent facilement trouver les données qui les intéressent. Mais aussi, la production de donnée doit s'accompagner d'outils pour former à l'utilisation des données.

7.5. Guide des entretiens semi-directifs

Dans le cadre du projet REXplore2070

Le 20/04/2019

Contextualisation

Bonjour,

Dans le cadre d'un projet soutenu par l'AFB, l'Irstea et le MTES (Ministère de la transition écologique et solidaire), nous menons une série d'entretiens. Ce projet est coordonné pour Irstea par E. MARTIN et E. SAUQUET, pour l'AFB par C. MAGAND et pour le MTES par M. BEREL. L'objectif est de faire un retour d'expérience sur le projet Explore2070 (<https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/44>) ou tout autre type d'étude prospective à l'échelle de votre territoire. Ces entretiens s'intéresseront principalement aux volets climatique, hydrologie de surface et hydrologie souterraine.

Pour mémoire, Explore2070 est la première étude prospective financée par le MEDD (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable) à l'échelle nationale sur l'impact du changement climatique sur différents volets liés à l'eau telle l'hydrologie superficielle et souterraine, les écosystèmes aquatiques, les milieux côtiers, et des scénarios prospectifs. Cette étude, achevée en 2012, a fourni des données et livrables pour les acteurs. De nombreuses études prospectives sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau à l'échelle de bassins versants ou territoires ont été notamment réalisées par les agences de l'eau ou autres acteurs à partir de ces données.

Aujourd'hui, la question se pose de renouveler un exercice type Explore2070 exploitant les derniers résultats du GIEC. Dans ce nouvel exercice, il s'agira de reprendre les points forts d'Explore2070 et d'autres études afin de produire des résultats qui seront le plus largement utilisés.

C'est dans ce cadre que nous souhaiterions nous entretenir avec vous, sur vos expériences d'utilisateur et vos besoins d'utilisateur. Au cours de l'entretien, nous échangerions, dans un premier temps, sur vos usages de ces études puis sur leur contenu scientifique et technique. Et dans un second temps, nous nous intéresserions à vos attentes et vos besoins en termes de

rapport et de donnée si un exercice type Explore2070 devait être reconduit.

Présentation :

- Pour commencer, est-ce que vous pouvez-vous présenter ?
 - Votre rôle dans votre structure,
 - Quelles sont vos missions sur l'impact de changement climatique et l'adaptation au changement climatique ?
 - Avez-vous un service dédié avec la capacité de traiter en interne les données hydro-climatiques ?
- Connaissez-vous Explore2070 ?

Si Explore2070 est connu

Utilisez-vous encore ou avez-vous utilisé Explore2070 dans le cadre de vos missions ?

Contexte d'utilisation

- Quels usages avez-vous fait d'Explore2070 ?

Contenu technico-scientifique d'EXPLORE2070

Objectifs : avis sur le contenu d'Explore2070 à la fois en termes de contenus scientifiques, de présentations, de données et de valorisation.

- Qu'est-ce que vous avez utilisé d'Explore2070 ? (Données, lots, incertitudes, ...)
- Comment vous êtes-vous approprié les résultats ? (L'utilisation, l'interprétation, la compréhension de la méthode utilisée pour réaliser Explore2070)
- Que pensez-vous de la valorisation d'Explore2070 ? (*Pertinence des supports de communication / diffusion des résultats*)
- Est-ce que vous avez une remarque complémentaire sur le contenu scientifique et technique d'Explore2070 ?

Etude complémentaire/alternative

- Avez-vous utilisé une autre étude sur l'impact du changement climatique sur les ressources en eau ? (*Garonne2050, Plan d'action adaptation au CC-bassin Rhône-Méditerranée, RExHySS, MOSARH21, R²D², ...*).
- Pourquoi l'avez-vous utilisé ?
- Est-ce que vous avez des remarques sur le contenu scientifique et technique de ces études ? (*Organisation, contenu, accessibilité*)
- Comment vous êtes-vous approprié les résultats ?
- Que pensez-vous de leur valorisation ?
- Qu'est-ce que vous avez apprécié dans ces études par rapport à Explore2070 ?

Attentes et nouveaux contenus

- Y-a-t-il un besoin d'une nouvelle étude de prospective sur la ressource en eau à l'échelle nationale ? Comme pour Explore2070, l'étude fournirait des résultats à l'échelle nationale.
- Quels sont les nouveaux contenus que vous pensez nécessaires et dont vous avez besoin ?
 - Résolution spatiale et temporelle ?
 - Des données hydro-climatiques (débit, température, précipitation, ...) ?
 - Quels prétraitements des données brutes ?
 - À quel horizon ?
 - Quels scénarios d'émission de gaz à effet de serre ?
 - Pour l'hydrologie souterraine : niveau piézométrique en fonctionnement sans influence anthropique, avec les influences anthropiques, ... ?
 - Indicateurs sur les événements extrêmes (sécheresses, crues) ?
 - La température de l'eau ?
 - Les incertitudes ?

- Un rapport sur les potentiels d'utilisation et des préconisations d'utilisation ?
- Des scénarios prospectifs ?
- ...
- Avez-vous des suggestions de valorisation différentes qui vous sembleraient pertinentes ? (nouveaux supports)
- Est-ce que vous avez d'autres attentes que nous n'avons pas évoquées précédemment ?

7.6. Questionnaire en ligne

Dans le cadre du projet REXplore2070

Le 17/07/2019

Ce questionnaire a pour but de faire un retour d'expérience sur le projet Explore2070 (<https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/44>) et de collecter les besoins en matière de données ou d'information pour conduire des études prospectives sur la ressource en eau à l'échelle de votre territoire.

Les questions de la première partie sont essentiellement tournées sur l'étude Explore2070 et l'usage que vous avez pu en faire. La seconde partie est consacrée aux besoins émergents si un exercice de type Explore2070 devait être renouvelé.

Les résultats seront traités de manière anonyme. Un rapport de synthèse sera mis à disposition de tous début 2020.

Merci d'avance de vos réponses.

1. Questions préliminaires sur votre connaissance d'Explore2070

- **Connaissez-vous Explore2070 ?**
 - Oui
 - Non

Site d'accès aux productions d'Explore2070 : <https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/44>

- **Avez-vous utilisé les résultats d'Explore2070 ?**
 - Oui
 - Non

2. Le bilan de vos usages d'Explore2070

- **Avez-vous eu accès aux données/résultats dont vous aviez besoin ?**
 - Oui
 - Non
- **Y-a-t-il eu des freins à votre usage d'Explore2070 ?**
 - Le format des supports
 - Des données non disponibles sur internet
 - Une difficulté à analyser les données
 - La méthode ne vous convenait pas
 - Autre :
- **Quels supports avez-vous utilisés ?**
 - Rapports
 - Synthèses de 4 pages
 - Fiches hydrologiques
 - Tables de données

- **Quels lots avez-vous utilisés ?** (Les classer de 1 à 7 ou non utilisés)

	1-Le plus utilisé	2	3	4	5	6	7-Le moins utilisé	Non utilisé
Climatologie								
Hydrologie de surface								
Hydrologie souterraine								
Ecosystèmes aquatiques								
Milieux côtiers								
Prospective socio-économique et démographique								
Evaluation des stratégies d'adaptations								

Les classer de 1 à 7du plus au moins utilisé

- **Avez-vous su analyser et valoriser les incertitudes ?**
 - Oui
 - Non
- **Expression libre** (remarques éventuelles sur votre expérience d'utilisateur, sur un point fort ou une faiblesse d'Explore2070) :

○

3. Une nouvelle étude prospective nationale sur l'impact du changement climatique sur la ressource ?

- **Y-a-t-il, selon vous, un besoin de produire une nouvelle étude prospective nationale sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau ?**
 - Oui
 - Non
- **Cette nouvelle étude devra mettre l'accent sur :**
 - L'actualisation des données d'Explore2070 au regard des nouveaux résultats du GIEC
 - La production d'indicateurs adaptés aux besoins des gestionnaires de l'eau
 - La proposition d'un cadre uniformisé d'analyse
 - Autre :
- **Quels usages feriez-vous des informations fournies par une nouvelle étude ?**
 - Une étude prospective territoriale ou sectorielle
 - Une mise à jour des documents de prévention et de gestion des risques climatiques
 - Autre :
- **Expression libre** (remarques complémentaires sur votre besoin d'une nouvelle étude) :

○

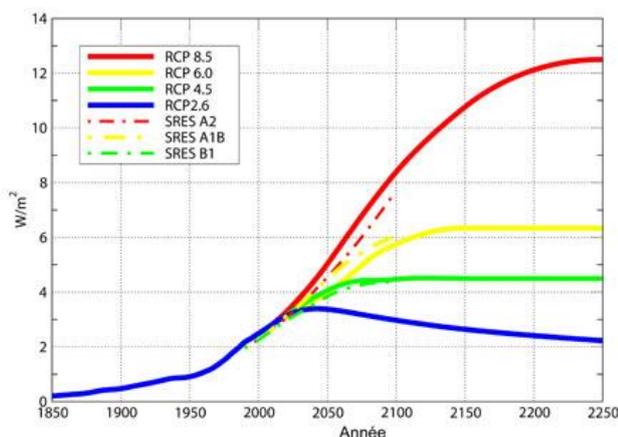
4. Le périmètre et les évolutions attendues pour une nouvelle étude

- **A quel horizon souhaitez-vous que l'étude se projette ?**
 - A l'horizon 10 à 15 ans
 - Au milieu du siècle
 - À la fin du siècle
 - Au-delà du siècle
 - Sur tout le siècle
- **Quels scénarios RCP vous intéressent ?**
 - Scénario de stabilisation à +1.5°C
 - Scénario de stabilisation à +2°C
 - 2.6
 - 4.5
 - 6.0
 - 8.5

Note explicative : Les scénarios de stabilisation +1.5°C et +2°C correspondent à des scénarios de réchauffement de +1.5°C et +2°C au-dessus de la période préindustrielle. Ils sont l'objet du rapport spécial SR15 "Global warming of 1.5°C" du GIEC.

Les scénarios RCP ("Representative Concentration Pathways" ou "Profils Représentatifs d'évolution de Concentration") définis par le GIEC sont quatre trajectoires d'émissions et de concentration de gaz à effet de serre. Elles sont utilisées par les climatologues pour faire des projections climatiques globales ou régionales. Les trajectoires représentent quatre profils différents d'évolutions du scénario 8.5, extrême (pessimiste), au scénario, 2.6, dans lequel des politiques sont mises en place pour le limiter le réchauffement planétaire à 2°C.

Le graphique, ci-dessous, représente les quatre profils d'évolutions des concentrations de gaz à effet de serre traduit en termes de forçage radiatif (le bilan entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement infrarouge réémis).



Evolution du "forçage radiatif" selon les différents scénarios RCP et les anciens scénarios SRES (Source : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/le-giec-groupe-dexperts-intergouvernemental-sur-levolution-du-climat/les-scenarios-du-giec>)

- **Selon vous, la résolution spatiale des résultats doit être :**
 - conditionnée par les attentes des territoires
 - conditionnée par le réseau d'observation
- **Quelle résolution temporelle attendez-vous des séries de données ?**

	1-Très utile	2	3	4-Non utile
Jour				
Décade				
Mois				
Année				

- **Quels indicateurs cette étude pourrait-elle produire pour répondre à vos besoins opérationnels ? (Indiquez l'ensemble des indicateurs dont vous auriez besoin sous forme de liste)**

Exemple :

- Le régime interannuel (débit annuel et douze débits mensuels moyens)
- L'indicateur de basses eaux réglementaire QMNA5
- Le régime de crue (débit journaliers de période de retour inférieur à 10 ans)
- La hauteur des nappes (annuelle et mensuelles)
- **Attendez-vous des supports spécifiques de diffusion ?**
 - Oui
 - Non
- **Quels types de supports seraient le plus adaptés à votre utilisation?**
 - Une extension du portail DRIAS actuel
 - Une plateforme dédiée sur internet
 - Un rapport de synthèse
 - Des fiches (graphiques et tableaux) aux points de modélisation (climatique, hydrologique et piézométrique)

- Autre :
- **Souhaitez-vous un accompagnement spécifique avec cette nouvelle étude ?**
 - Oui
 - Non
- **Quels formats cet accompagnement devrait-il prendre pour répondre à votre besoin ?**
 - Un guide de bonne pratique
 - Une formation technique
 - Un outil de traitement des données
 - Autre :
- **Expression libre** (remarques complémentaires) :

5. Votre profil

- **Dans laquelle de ces structures travaillez-vous ?**
 - Les collectivités territoriales (communes et groupement de communes, département, région, etc.)
 - Les établissements publics territoriaux (EPTB, PNR, etc.)
 - L'Etat et ses établissements publics (DDT, DREAL, DDPP, AFB, Agence de l'eau, ARS, etc.)
 - Les organismes socioprofessionnels (les chambres consulaires ; les entreprises et bureaux d'études, les syndicats professionnels, etc.)
 - La recherche (Université, Institut Scientifique et Technique, etc.)
- **Sur quels bassins hydrographiques travaillez-vous ?**
 - Rhône-Méditerranée-Corse,
 - Adour-Garonne,
 - Loire-Bretagne,
 - Rhin-Meuse,
 - Artois-Picardie,
 - Seine-Normandie
 - Autre :
- **Quel est votre champ d'action principal ?**
 - La gestion quantitative (dont risque)
 - Les milieux aquatiques et la biodiversité
 - Le développement de la connaissance
 - Le changement climatique
 - Autre :
- **Vos coordonnées (facultatives)**
 - Nom, prénom :
 - Adresse mail :
 - Le nom de votre structure :

8. Annexe 2 : Les actions internationales : synthèse et apprentissage

8.1. La jungle internationale : quelle probabilité pour un décideur de trouver une donnée utilisable ?

A l'image d'une descente d'échelle climatique, des initiatives emboîtées structurent les programmes à l'échelle internationale ; puis, des organisations transnationales et nationales relayent l'information au niveau régionale. Un zoom progressif va être réalisé des organisations internationales vers les organisations européennes. L'objectif est ici d'offrir une rapide vision de l'organisation mondiale du secteur climatique dans le but de présenter où se trouvent les données produites par chaque échelon.

8.1.1. La descente d'échelle internationale

L'échelle mondiale

Le secteur du changement climatique est structuré par de grands programmes internationaux dont le financeur clé est l'Organisation des Nations Unies (ONU).

Le programme mondial de recherches sur le climat (World Climate Research Programme WCRP, <https://www.wcrp-climate.org/>) a pour objectif principal d'analyser le climat et l'effet prévisible des activités humaines sur le climat. Sa mission se concrétise par des réunions, des séminaires et des conférences dans le but de fédérer et de coordonner les recherches au niveau international.

Les projets CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) du WCRP en sont une émanation ; ils ont pour objectifs de coordonner des simulations climatiques au niveau international pour mieux comprendre les déterminants du climat, de construire des images du climat futur et d'en estimer les incertitudes. Les modèles numériques (General Circulation Model, GCM) présents dans les projets CMIP sont sélectionnés selon des critères définis par le WCRP. Les résultats sont ensuite intégrés dans les évaluations de l'état des connaissances sur le climat réalisé par le Groupe Intergouvernemental d'Expert sur le Climat (GIEC ou Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, <https://www.ipcc.ch/>). Le GIEC est chargé de fournir de l'information notamment à destination des décideurs pour la mise en œuvre des politiques d'adaptation et d'atténuation.

Pour transmettre l'information produite, le GIEC met à disposition tous ses rapports sur son site et a créé un site dédié à la mise à disposition des données de le GIEC (<https://www.ipcc-data.org/index.html>). Son objectif est de fournir un accès commun et facile à des données sur le climat. Les données associées au dernier rapport d'évaluation, le cinquième du GIEC (5th Assessment Report, AR5), sont disponibles en libre accès.

Vers une régionalisation continentale

Les données des GCM à des résolutions grossières doivent être régionalisées pour évaluer les effets des changements à l'échelle locale. Afin de coordonner les efforts de recherche sur cette phase de « descente d'échelle », le WCRP a créé le projet CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, <http://www.cordex.org/>). L'objectif est de dynamiser la recherche à travers des partenariats, d'évaluer et d'améliorer les performances des modèles régionaux du climat, de produire des projections internationales et de faciliter les échanges avec les utilisateurs. Le programme CORDEX est décliné en 14 branches (14 zones géographiques) sur lesquelles les descentes d'échelle ont été appliquées, dont une branche européenne : EURO-CORDEX (<https://euro-cordex.net/>). Le projet EURO-CORDEX a été précédé par différents projets STARDEX, PRUDENCE, ENSEMBLES qui ont permis d'alimenter des scénarios climatiques nationaux (en Suisse, aux Pays-Bas, en France, etc.). Les données produites par le projet EURO-CORDEX et ses prédécesseurs sont mises à disposition sur plusieurs sites, dont <https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>.

Vers l'évaluation des impacts du changement climatique :

L'initiative ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project, <https://www.isimip.org/>) s'est fixé pour missions d'élaborer un cadre cohérent de modélisation et d'examiner l'impact sectoriel (eau, énergie, santé, etc.) du changement climatique à différentes échelles de temps et d'espace (Warszawski et al., 2014). Plusieurs cycles se sont succédés (ISIMIP2, ISIMIP2A, ISIMIP2B, ISIMIP Fast Track). Un ensemble de données, issues des simulations, est disponible sur une plateforme <https://esg.pik-potsdam.de/projects/isimip/>.

Un service pour l'adaptation des nations unies

Le portail « Adaptation of Knowledge Portal » est une réalisation du Nairobi Work Programme (NWP). Le but est de fournir un accès à l'information et à la connaissance pour l'adaptation au

changement climatique. Cette plateforme fournit un panel de cas d'étude, d'outils, de documents, etc. (<http://www4.unfccc.int/sites/nwp/Home.aspx>).

Synthèse

Le contexte international est riche mais peu adapté à un décideur ou un utilisateur non expert. Les organisations précédemment citées mettent à disposition des données qui nécessitent des compétences spécifiques. L'utilisateur sans expertise peut utiliser les rapports du GIEC (notamment les « Résumés à l'intention des décideurs politiques » (Summary for policymakers, ex. IPCC, 2014)). Cependant, les informations fournies restent à une échelle assez grossière (ces rapports ne sont pas adaptés à la quantification des évolutions possibles du climat local).

8.1.2. Les services européens sur le climat

L'Union Européenne a cherché à coordonner les informations climatiques à l'usage des décideurs et utilisateurs européens. Des services climatiques dédiés à la transmission des données produites ou à l'adaptation ont été développés pour les gestionnaires, décideurs et utilisateurs.

Les services climatiques de mise à disposition des données

Le programme Copernicus a développé un site de référence Copernicus Climate Change Services (C3S) de mise à disposition des données qui font autorité sur les climats passé, présent et futur. Ce service fournit des données, des outils pour les exploiter et des cas d'études. Sa mission principale de mise à disposition des données se fait au travers du Climate Data Store CDS (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>). La majorité des données sont fournies par des organismes tiers sélectionnés sur appels d'offre. Il y a donc *a priori* un gage de qualité des données disponibles pour les utilisateurs (<https://www.copernicus.eu/fr/services/changement-climatique>).

L'accès aux données nécessite un compte et des compétences pour isoler et télécharger l'information souhaitée. Ce n'est donc pas un site dédié aux novices, sans formation, ni de connaissance préalable.

D'autres services climatiques ont été développés dans le cadre de programmes européens ; citons par exemple :

- Climate4impact (<https://climate4impact.eu/impactportal/general/index.jsp>) a pour but de mettre à disposition des données au service des chercheurs, consultants et autres utilisateurs qui souhaitent travailler sur les impacts du changement climatique et son adaptation ; un outil de visualisation est disponible ;
- Impact2c (<https://www.atlas.impact2c.eu/en/>) est un projet ayant pour but de comprendre les impacts du changement climatique dans le cadre spécifique d'un réchauffement de +2°C. L'interface permet de visualiser des cartes sur les impacts du changement climatique avec un objectif de fournir un accès facile à l'information.

L'interconnexion entre les différentes plateformes est forte c'est-à-dire qu'ils existent nombreux renvois entre les différentes plateformes et des recoupements. La navigation peut donc vite devenir ardue si l'utilisateur ne connaît pas les bons mots-clés.

Les services climatiques européens dédiés à l'adaptation

La plateforme de l'Europe sur l'adaptation est Climate-adapt (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/>). Elle est née d'un partenariat entre la Commission Européenne et l'Agence Européenne de l'Environnement. Elle a pour objectif d'aider les utilisateurs à accéder et partager des données sur cinq thèmes :

- le changement climatique attendu en Europe ;
- la vulnérabilité actuelle et future des régions et secteurs ;
- les stratégies et actions d'adaptation européenne, nationale et transnationale ;
- les cas d'étude en adaptation et les actions potentielles ;
- les outils pour la planification de l'adaptation.

Les partenaires gestionnaires du site ont la volonté de faciliter l'accès et le partage des connaissances et données. Son objectif est la centralisation d'informations afin de rediriger efficacement le lecteur vers des sources d'autres ressources.

Tableau 5 : Résumé de la France par Climate-adapt (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/france>)

Item	Statuts	Links
National Adaptation Strategy	Adopted	Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique - French National Adaptation Strategy
National Adaptation Plan	Adopted Adopted	2e Plan national d'adaptation au changement climatique, Second French National Adaptation Plan NAP-2 1er Plan national d'adaptation au changement climatique, First French National Adaptation Plan NAP
Impacts, vulnerability and adaptation assessments	Completed	Changement Climatique : Coûts des impacts et pistes d'adaptation Climate change: costs of impacts and lines of adaptation
Research programmes	Currently being undertaken Currently being undertaken	Gestion des Impacts du Changement Climatique Programme - Management and Impacts of Climate Change Agence Nationale de la Recherche - The French National Research Agency
Meteorological observations	Established Established	Météo-France Data on Climate Météo-France Climate Indices and Observations
Climate Projections and Services	Established Established	Drias les futurs du climat Météo-France Web app
CC IVA portals and platforms	Established Established Established	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique - French National Observatory on the Effets of Climate Change GéoRisques Météo-France Data on Extreme Events
Monitoring, Indicators, Methodologies	Established	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique - French National Observatory on the Effects of Climate Change
Monitoring Mechanism Regulation	Last reporting on Adaptation (Art.15) submitted	2019 submission
National Communication to the UNFCCC	Last National Communication Submitted	UNFCCC NC7 (FR) Corrigendum UNFCCC NC7 (EN)

Quatre portes d'entrée sont proposées :

- l'onglet « Politique européenne » présente le cadre politique européen avec des focus sectoriels ;
- l'onglet « Pays, régions transnationales et villes » propose trois sous sections : des profils par pays, par villes et par régions transnationales. Nous nous focaliserons sur l'échelle nationale qui nous intéressent dans le cadre de ce projet. Pour chaque pays européen, les documents stratégiques et les sources de données nationales sont répertoriés. Cet état des lieux s'intéresse au climat et à l'adaptation. Il n'y pas de focus sectoriel sur la gestion de l'eau, l'agriculture, la biodiversité... Un tableau récapitulatif par pays renvoie vers les sites nationaux sur le cadre politique et la mise à disposition d'informations sur le climat et son adaptation. A titre d'exemple, nous avons exploré le Tableau 5 dédié à la France. La plateforme Climate-adapt renvoie vers les sites clés en lien avec le changement climatique et les documents stratégiques nationales. Ce tableau permet un accès rapide vers la documentation nationale sur l'adaptation au changement climatique. Tous les pays sont traités de manière similaire ce qui permet d'avoir une vision globale des politiques européennes sur l'adaptation au changement climatique. Chaque pays est en charge de compléter et mettre à jour régulièrement ces informations.
- l'onglet « Connaissances » met à disposition des connaissances pour l'adaptation et est organisé en six sous-parties : les thématiques (impacts, risques et vulnérabilités, conseils sur les incertitudes, etc.), les options d'adaptation, les données et indicateurs, les outils, les pratiques, les projets de recherche, et la base de données de Climate-adapt rassemblant un ensemble large d'informations ;
- l'onglet « Réseaux » fournit une liste des réseaux existants sur l'adaptation au changement climatique.

Les informations concernent les aspects politiques et des informations plutôt générales d'accompagnement à la mise en place de mesures d'adaptation sans préciser où trouver la donnée climatique.

8.1.3. Une plateforme sectorielle sur l'impact du changement climatique sur l'eau

SWICCA (Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation, <https://swicca.climate.copernicus.eu/>) est un service centré sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau en Europe, géré par l'institut de recherche SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute). SWICCA est un démonstrateur de services d'informations sectorielles financé par Copernicus Climate Change Services (C3S), mentionné plus haut.

Descriptif du site

- « Climate impacts » donne accès à une carte interactive. Elle permet la visualisation des impacts du changement climatique sur l'évolution de la quantité et la qualité des eaux de surface avec la possibilité de télécharger des données à un exutoire ou sur une maille ;
- « Seasonal forecasts », de même, donne accès à une carte interactive qui permet la visualisation des prévisions à un horizon de six mois ;
- « Showcases » présente différents cas d'étude en Europe d'utilisation des données de SWICCA pour implémenter des adaptations locales ;
- « User guidance » fournit un ensemble de documents pour accompagner l'utilisateur dans son usage de la plateforme ;
- « About » décrit le projet.

Les spécificités techniques des modélisations de SWICCA

Ce site est destiné essentiellement aux consultants-ingénieurs. De plus, SWICCA propose une boucle de retour entre les consultants, qui utilise la donnée pour leur client, et les modélisateurs. Afin que les résultats présentés s'adaptent aux besoins.

Au-delà de cette limite, l'outil permet à tout utilisateur d'extraire des séries de données en tout point situé en Europe pour appuyer l'adaptation (Tableau 6). Les cartes interactives donnent accès à un ensemble d'indicateurs climatiques et hydro-climatiques agrégés à différentes échelles spatiales ou à l'échelle de bassin versant, et aux différents horizons.

Indicateurs disponible dans SWICCA

Les indicateurs fournis par SWICCA (Tableau 7) sont proches de ceux souhaités par les utilisateurs interrogés sur leur retour d'expérience d'Explore2070. Les utilisateurs ont fait des demandes plus précises sur certaines thématiques comme les extrêmes et les étiages ; leurs demandes semblent conditionnées par les exigences réglementaires françaises.

Cette vision large des différentes plateformes et services climatiques proposés par les communautés internationales à l'échelle mondiale et européenne montre la diversité des services et le niveau d'expertise variable nécessaire à l'utilisation des données. La plupart des services sont assez peu adaptés à des utilisateurs non-experts. Il manque peut-être un niveau d'information dédié à ce type d'utilisateurs.

Tableau 6 : Spécificité technique des simulations SWICCA

CONFIGURATION	SWICCA
RÉGIONS	Europe
SOURCE DES MODÈLES	ENSEMBLES et EURO-CORDEX
RÉSOLUTION SPATIALE	0.5 degré par maille (50 km) 0.1 degré par maille (12 km) 5 km Bassin versant (minimum 215 km ²)
GCMS	EC-EARTH ; MPI-ESM-LR ; HadGEM2-ES ; CM5A
RCMS	RCA4 ; REMO2009 ; RACMO22E ; WRF33
GCM-RCM CHAÎNE	11 chaînes
MODÈLE HYDROLOGIQUE	E-HYPE 2.1, VIC-4.2.1.g, LISFLOOD
SCÉNARIO D'ÉMISSION	RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5
HORIZON	2020, 2050, 2080
PERIODE DE REFERENCE	1971-2000
ESTIMATIONS DES INCERTITUDE	Analyse multi-modèle

Tableau 7 : Indicateurs fournis par SWICCA

Quantité d'eau	Qualité de l'eau	Température	Précipitation	Air	Socio-économique
Récurrence des inondations	Concentrations en phosphore	Jour de gel	Durée des précipitations intense	Couverture nuageuse	GDP-SSP Scenarios
Courbe de durée des débits	Charges en phosphore	Température	Intensité maximum des précipitations	Humidité relative	utilisation des sols
Débit non-influencé	Concentrations en azote		Période de sécheresse		Population
Débit des rivières	Charges en Azote		Précipitation		GDP-ECFIN Scenarios
Equivalent en eau de la neige	Température de l'eau				
Teneur en eau des sols					
Ruissellement					
Humidité					
Aridité					

8.2. Le contexte européen des services climatiques et des scénarios climatiques nationaux

Le focus suivant s'intéresse à trois pays européens. Il a pour objectif d'étudier les actions mises en œuvre sur la production de données et de contenu pour l'adaptation, sans s'attacher à leur politique nationale. Les pays choisis sont :

- les Pays-Bas,
- le Royaume-Uni,
- la Suisse.

Ces trois pays ont été retenus pour la disponibilité de leur service climatique en anglais ou en français. De plus, ils ont publié des retours d'expérience et la littérature « grise » de ces pays est relativement abondante. Ces pays seront analysés sur quatre aspects :

- les services climatiques : les organismes et les plateformes numériques ayant pour mission d'accompagner les acteurs à travers les missions et les services proposés ;
- la mise à disposition des données : les sites et organismes nationaux en charge de la mise à disposition des données produites lors des différents exercices ;
- les scénarios climatiques nationaux (méthode(s) appliquée(s) et format(s) de restitution des résultats du ou des exercices nationaux) ;
- le secteur de l'eau : les études d'impact du changement climatiques sur la ressource en eau (méthode(s) et format(s) de restitution).

Cette analyse s'est donc attachée à fournir une vision globale des sites et études à disposition du public pour l'analyse des impacts du changement climatique et la mise en place de stratégies d'adaptation.

8.2.1. Les Pays-Bas

Le Delta Programme est un instrument national, mis en place pour assurer la protection contre les inondations et risques de submersion marine, et l'alimentation en eau face au changement climatique jusqu'à la fin du 21^{ème} siècle. Cet instrument politique à portée nationale est un instrument complémentaire du plan national d'adaptation au changement climatique. Les priorités du Delta Programme sont révisés tous les ans depuis 2011 (<https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/delta-programme-2020>) et ce programme semble catalyser la thématique de l'adaptation au Pays-Bas.

Les services climatiques

Kennisportaal ruimtelijke adaptive (<https://ruimtelijkeadaptatie.nl/english/>) est la plateforme principale pour l'adaptation au changement climatique aux Pays-Bas. Elle est organisée en quatre grandes parties :

- Outils : quatre outils sont mis à disposition en libre-service : Climate Impact Atlas, Stress test,

Climate-proof City toolbox, Climate Damage Assessor, etc. ;

- Exemple : un large panel d'actions mises en place pour l'adaptation au changement climatique est présenté sur différents secteurs (dont sécheresse et inondations urbaines) et à différentes échelles. Un lien est fourni vers la plateforme Climatescan (<https://www.climatescan.nl/>) qui recense des initiatives réalisées sur le globe favorisant la résilience en milieu urbain, augmentant la capacité d'un système à faire face aux changements climatiques auxquels il est susceptible d'être confronté (« climate proofing »), etc. ;
- Librairie : répertoire de rapports et publications relatifs à l'adaptation territoriale ;
- Politique et programme : deux programmes nationaux soutiennent la politique nationale de gestion des impacts négatifs du changement climatique : National Climate Adaptation Strategy et Delta Plan on Spatial Adaptation.

La mise à disposition des données

Le KNMI (Institut Royal de Météorologie des Pays-Bas) met à disposition des données climatiques sur le portail Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/>). Climate effect atlas (ou Climate Impact Atlas, cité plus haut, <http://www.klimaat-effectatlas.nl/en/>) est un outil de visualisation sur les risques naturels actuels et futurs liés aux inondations, sécheresses, engorgement d'eau, vagues de chaleur, etc. La carte interactive proposée offre la possibilité de zoomer suivant la zone d'intérêt.

Les scénarios climatiques nationaux

Le KNMI (van den Hurk et al., 2006 ; Romero et al., 2011) a élaboré quatre scénarios climatiques KNMI'06 qui fournissent des informations sur les changements prévus au pas de temps journalier, établis sur la base des résultats d'un ensemble étendu de GCM. La sélection de scénarios a été faite en partenariat avec des utilisateurs et des institutions. KNMI'06 (van den Hurk et al., 2006) avait pour vocation de fournir aux décideurs des informations régionalisées sur l'évolution du climat et les incertitudes associées.

Quelques années plus tard, de nouveaux scénarios KNMI'14 (au nombre de quatre comme KNMI'06) ont été élaborés avec une meilleure prise en compte des besoins des utilisateurs. Ils ont été financés par le gouvernement. En 2021, les Pays-Bas publieront de nouveaux scénarios climatiques basés sur le sixième rapport du GIEC. Dans le Tableau 8, une synthèse des modélisations climatiques de KNMI'06 et KNMI'14 est présentée.

Tableau 8 : Synthèse des modélisations climatiques de KNMI'06 et KNMI'14

CONFIGURATION	KNMI'06	KNMI'14
RÉGIONS	Western Europe	Netherlands
SOURCE DES MODÈLES	Projet européen PRUDENCE et sélection des résultat du rapport AR4	CMIP5
RÉSOLUTION SPATIALE	50x50 km	11km
GCMS	Echam5 ; CCC63/CCCMA ; GFDL2.1 ; HadGEM ; MIROCHI	8 EC-EARTH
RCMS	HIRHAM ; CHRm ; CLM ; HadRM3H ; RegCM ; RACMO2 ; REMO ; RAO	RACMO2
GCM-RCM CHAÎNE	HADAM3H avec tous les RCM ; ECHAM4/OPYC avec HIRHAM et RAO	8 GCM-RCM
SCÉNARIO D'ÉMISSION	SRES B1, A1B, A2 et un scénario avec 140 ans d'augmentation à 1% de CO2 / an	RCP8.5
PÉRIODE	2035-2065	2016-2045 ; 2036-2065 ; 2081-2100
PÉRIODE DE RÉFÉRENCE	1975-2005	1981-2010
ESTIMATIONS DES INCERTITUDES	Analyse de multi-scénarios ; multi-modèle	Analyse de multi-scénarios ; multi-modèle
REFERENCE	(van den Hurk et al., 2006)	(van den Hurk et al., 2014)

Le secteur de l'eau

La gestion de l'eau et des risques liés à l'eau ont une place centrale dans le Delta Programme. Différents organismes ont pu être mobilisés pour produire des données quantitatives et qualitatives sur le changement climatique, la ressources en eau et les usages. Ces productions orientent les choix politiques de long terme. Ces études sont réalisées en partenariat entre des structures de l'état et des centres de recherche. Les quelques exemplaires disponibles en anglais présentent principalement des résultats qualitatifs : The effects of Climate Change in the Netherlands: 2012 (Ligtvoet et al., 2013) ; Impact of climate change on water quality in the Netherlands (Verweij et al., 2010).

8.2.2. Le Royaume-Uni

Le Royaume-Uni s'est engagé très tôt sur la thématique du changement climatique. Ils ont commencé à se saisir de la question avec la création d'un service dédié et la publication de scénarios climatiques nationaux dès 1998. Ils ont publié dernièrement les résultats de l'étude UKCP18.

Les services climatiques

UKCIP (<https://www.ukcip.org.uk/>) est une des premières institutions dans le monde dédié exclusivement à l'adaptation au changement climatique. Créé en 1997, ce service a mis en ligne une première plateforme en 2000 et voit des améliorations continues depuis. Elle est gérée par une équipe multidisciplinaire situé dans l'Environmental Change Institute de l'Université d'Oxford. Cette équipe se focalise sur les problèmes liés à l'adaptation au changement climatique. Elle fournit principalement des méthodologies et outils pour :

- la prise de décision pour l'adaptation ;
- la partage de la connaissance et des idées ;
- les adaptations créatives.

C'est une organisation à la frontière entre scientifiques et utilisateurs. Elle est en charge de mettre en lien les deux parties notamment lors de la réalisation de scénarios climatiques nationaux. De plus, elle a publié des outils pour l'adaptation comme Wizard.

La mise à disposition des données

Le Met Office est le service météorologique du Royaume-Uni en charge de la météorologie, du climat, de programmes de recherche et autres services. Il met à disposition des projections climatiques sur les évolutions possibles du climat au cours du XXI^{ème} siècle sur sa page UK Climate Projection (UKCP, <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/collaboration/ukcp/index>).

La diffusion des résultats de la dernière étude UKCP18 se fait à travers deux sites : Met Office et UKCP user interface. La page dédiée à UKCP18 sur Met Office fournit des informations générales sur l'étude (<https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/collaboration/ukcp/about>) tandis que « UKCP user interface » permet le téléchargement de cartes, graphiques et tables de données à des échelles spatiales et temporelles différentes (<https://ukclimateprojections-ui.metoffice.gov.uk/>). L'enregistrement est facile. Le mode « zoom » permet de récupérer des informations sur la zone d'intérêt pour l'utilisateur

Les scénarios climatiques nationaux

UKCIP02 présente les connaissances sur le changement climatique acquise en 2002. Quatre scénarios ont été étudiés : basses, moyennes-basses, moyennes-hautes, et hautes émissions. Ils représentent quatre futurs possibles pour le climat. Cette étude avait pour objectif de servir de base à l'évaluation des impacts du changement climatique (Hulme et al., 2002).

UKCIP09 est conçu pour appuyer les choix des décideurs et favoriser la « bonne-adaptation » au changement climatique au Royaume-Uni. Elle a été réalisée par le Met Office et ses partenaires, financée par le UK Gouvernement. La volonté de cette étude est de fournir de l'information aux utilisateurs. Pour ces scénarios, les scientifiques ont centré leurs efforts sur l'évaluation des incertitudes.

UKCIP18 a utilisé les modèles les plus récents développés par Met Office et la communauté internationale. Trois méthodes différentes ont été utilisées pour produire les résultats afin de répondre aux demandes de différents utilisateurs. Les utilisateurs ont été davantage intégrés dans la réalisation de l'étude.

Dans le Tableau 9, une synthèse des modélisations climatiques de UKCIP09 et UKCIP18 est présentée.

Le secteur de l'eau

L'étude « Future Flows and Groundwater Levels » (FFGWL, <https://www.ceh.ac.uk/our-science/projects/future-flows-and-groundwater-levels>) est une étude nationale qui a produit des séries journalières de débit et des données mensuelles sur des forages en Grande-Bretagne. Cette étude a permis la publication de deux sets de données :

- FF-HadRM3-PPE, un ensemble de 11 simulations à une maille de 1 km sur la période 1950-2098 sous le scénario médian SRES A1B ;
- FF-HydMod-PPE, un ensemble de 11 simulation journalières de débit et le niveau mensuelles de forages sur 282 rivières et 24 forages.

Les séries temporelles s'étendent de 1950 à 2098. Trois types de modèles hydrologiques ont été utilisé : CERF, PDM, CLASSIC et un modèle hydrogéologique R-Groundwater (Prudhomme et al. 2012). Cette étude a mis à disposition des cartes, des rapports, des données et des fiches d'informations (Tableau 10, Figure 17).

Tableau 9 : Synthèse des modélisations climatiques de UKCP09 et UKCP18

CONFIGURATION	UKCP09	UKCP18
REGIONS	Royaume-Uni divisé en seize régions administratives	Royaume-Uni
SOURCE DES MODELES	AR4	CMIP5 et de nouvelles modélisations
RESOLUTION SPATIALE	25 km final	12 km et à venir : 2.2 km
GCMS	21 GCM	HadCM3, CMCC-CM, BCC-CSM1.1, CanESM2, ACCESS1-3, CESM1-BGC, CNRM-CM5, EC-EARTH, GFDL6ESM2G, HADGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, MPI6ESM6MR, MRI6CGCM3, CCSM3
RCMS	Utilisation d'une méthode propre : perturbation physique et méthode classique combiné	RCM-PPE, RCM-STD
GCM-RCM CHAINE		11 chaînes
SCENARIO D'EMISSION	A1FI, A1B, B1	A1B, 2.6, 4.5, 8.5
PERIODE	Intervalle de 30 ans : 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080	1900-2100
PERIODE DE REFERENCE	1961-1990	1981-2000 et autres suivant les cas
ESTIMATIONS DES INCERTITUDES	Approche bayésienne Multimodèle et perturbation physique	Plusieurs méthodes dont multimodèles
REFERENCE	(Murphy et al., 2009)	(Murphy et al., 2018)

The **fact sheets** are designed to provide a **brief overview** on the ability of the river flow or groundwater models to reproduce (simulate) some of the most important components of the water cycle when using observed and modelled climate. This overview is given by sets of **statistics** (measuring the differences between two time series) and **graphs** (providing a visual comparison). Detailed information on the meaning of the statistics and graphs is provided in the **Modelling protocol** report (Crooks et al., 2012, SC090016/PN4) accessible from the FF webpages (www.ceh.ac.uk). This briefing note summarises the **meaning** and **relative importance** of the statistics and graphs; it **does not** provide any **interpretation** for specific catchments/model.

One **fact sheet** is delivered **for each site and river flow or groundwater level model combination**. If two hydrological models are used to simulate flow at the same site, two catchment fact sheets are provided for this site. Note that different models use different methods of **calibration** ranging from **catchment specific** to **regionalised parameters**. The advantage of a regionalised parameter model is to extend the climate range under which the model parameters are evaluated; this is particularly important in a warming climate for catchments where evaporation processes may change from a surplus of summer precipitation over evaporation to a deficit. The advantage of catchment calibrated models is that they are designed to reproduce well the local hydrological processes. The calibration method may affect the statistical measures of model performance.

A catchment fact sheet is divided in three parts. **Top front page:** general information section with the main physical characteristics of the catchment, its location and the availability of observed flow data. **Front:** how well the observed flow time series are reproduced by the models when using **observed climate**; or a measure of the confidence in the hydrological model. **Back:** how well flow time series are reproduced by the models when using **modelled climate**; or a measure of the confidence in the climate/hydrological model combination. **Both front and back** must be looked at to fully understand the factors affecting the Future Flows Hydrology (FFH) time series. This is very important when the FFH time series are used to assess climate change impact on a catchment ecosystem. The FFH flow time series are in m^3s^{-1} .

Table

Summary of differences in modelling the flow with observed climate. Differences (except Nash Sutcliffe) give the % departure between statistics calculated from simulated and observed flow time series.

Names represent the considered statistics; Q_x = % difference in flow percentile value (i.e. in flow exceeded x% of the time); Nash Sutcliffe measures if the modelled time series describes the observed time series better than the long term average. A value of 1 shows a perfect match.

Three parts of the hydrological regime are of interest: (i) Water balance, seasonality, and day to day variability (upper part of table); (ii) Low flows (flow percentiles Q75 and Q90); (lower left); (iii) High flows (flow percentiles Q25 and Q5) and flood peaks (RP2 to RP20, not all models) (lower right). Sets of statistics are given for two time periods. Statistics are only calculated when there is observed flow data which may be limited within the 1962-1991 period.

Differences include measurement errors and other factors affecting the observed flow but generally **the smaller the difference the better the model simulation**.

Model performance

Assessment of model performance is given for the statistics for the 1971-2005 period using three Bands as defined in Table 1 of the Modelling Protocol. Interpretation of the Performance Bands; (i) Define the purpose for which the FFH time series are being used; (ii) Select the statistics most relevant to the purpose; (iii) Assess the performance bands for these statistics. For example: for low flows look at the performance for Q90 possibly in conjunction with that in Jul, Aug and Sep; where flows at particular times of year are the main criteria use the pattern of monthly performance. Where several statistics have performance Band 2 or 3 then particular care should be taken in use of the FFH data.

Graphs

The graphs illustrate how well the model simulates the flow time series by plotting together observed and simulated flow.

Two types of graphs are shown:

Hydrographs of mean daily flow for two 2-year periods (for most catchments representative of contrasting climatic conditions): (i) The 1975-1977 period illustrative of a dry episode and subsequent re-wetting; (ii) The 2000-2002 period illustrative of a wet episode and subsequent average conditions.

They give a visual assessment of the reproduction of different hydrological processes under contrasting conditions (e.g. drying during the recession phase; temporal variability typical of the flashiness of the catchment). Daily precipitation is also shown in these graphs.

Mean monthly flows and flow duration curves (shown on the back page). These graphs provide a visual assessment of how well the long-term variability and seasonality is reproduced by the simulation.

Because of the year-to-year variability of the climate of the UK (also called climate variability) it is possible that several climate time series differ while representing different plausible realisations of the climate. In addition, because knowledge of the physics of the atmosphere is limited and it is not yet feasible to accurately model small-scale climate features, it is now recommended that several climate models projections are considered together when assessing future projections in hydrology. For both reasons, an ensemble of climate models has been used to drive the FF hydrological models and generate an ensemble of FFH time series for each of the sites. The FFH ensemble is derived from the ensemble of Future Flows Climate (FFC) which contains information on both climate variability and climate modelling uncertainty; **no single projection should be considered in isolation of the others as this might mask some important information given by the other ensemble members.** Note that as FFC is derived from a climate model, the day-to-day sequencing of the climate and resulting flow is **not the same as that of observed flow when directly comparing time series.** Long-term statistics, such as the flow duration curves, should match more closely those derived from simulations using the observed climate.

Table

Summary of the percentage differences in modelling the flow with observed and modelled climate (FFC time series; note that FFC is a version of HadRM3-PPE where systematic biases in precipitation and temperature have been corrected, a snowmelt module has been applied and which has been downscaled at a hydrologically-relevant scale). Naming convention and units are as on the Front page.

Comparisons are made for a 30-year period representative of 1962-1991, called control. This gives an assessment of the difference introduced by the use of modelled rather than observed climate when simulating flow. This is important because FFH time series, as they project into the future, can only be derived from modelled climate. These differences help identify two possible features:

Systematic differences in the climate-hydrological chain for a **specific part of the regime**; e.g. if all summer flows show a large difference, this might suggest that modelled summer climate (rainfall and/or potential evaporation (PE)) is different from observed;

Systematic differences in the climate-hydrological chain for **specific ensemble member**; e.g. if all statistics associated with a fixa show a large difference, this might suggest that afixa climate (rainfall and/or PE) has different characteristics from the observed climate;

In both cases, the statistics should only suggest caution when interpreting the results of the whole FF ensemble, in particular if runs/periods with large differences in the control period are associated with a future signal different from the rest of the FF ensemble. **Large differences in some statistics of the control runs should not be used to automatically reject one of the ensemble members.**

Graphs

Two sets of graphs are shown.

Mean monthly flows and flow duration curves (observed and modelled climate)

The upper pair of graphs gives a visual assessment of how well the long-term variability of observed flows is reproduced using the observed climate (1971-2005, or period of observed flow record if this is shorter). The lower pair shows how similar the flow simulated from the 11 modelled climate time series is to the flow simulated from observed climate for the control period (1962-1991).

Change in mean monthly flow and flow duration curve

The lower pair of graphs shows the percentage change in mean monthly flow and flow exceeded x% of the time between two 30 year periods - the 1970s (1961-1990) and 2050s (2040 – 2069) for the 11 modelled climate series (FFC). The line of zero change is also shown. The range of change is indicative of uncertainty in the climate modelling

Catchment Fact Sheet 54057 Future Flows and Groundwater Levels

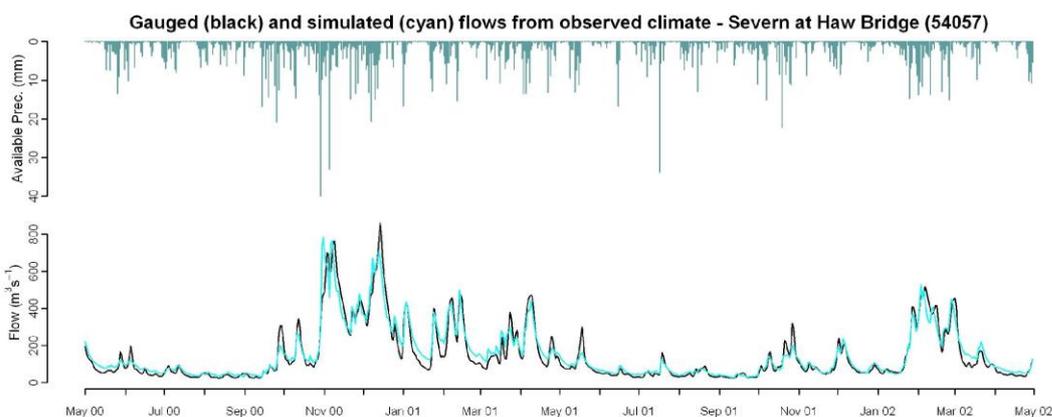
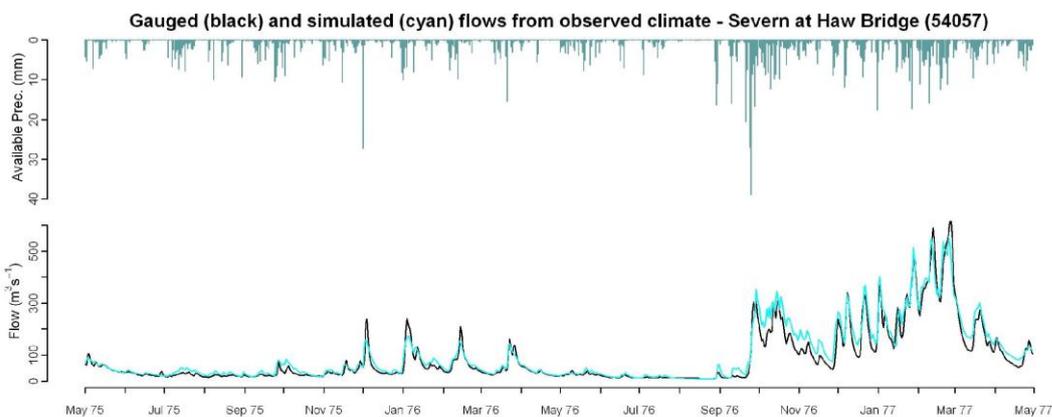
General Information

River Name	Severn	Catchment Area (km2)	9895
Station Name	Haw Bridge	SAAR (mm) 61-90	793
Station Number	54057	Mean Annual Rain (mm) 62-91	800
Grid Reference	SO844279	Mean Annual PE (mm) 62-91	573
EA Region	EA-M	Observed flow record	1971 to 2005

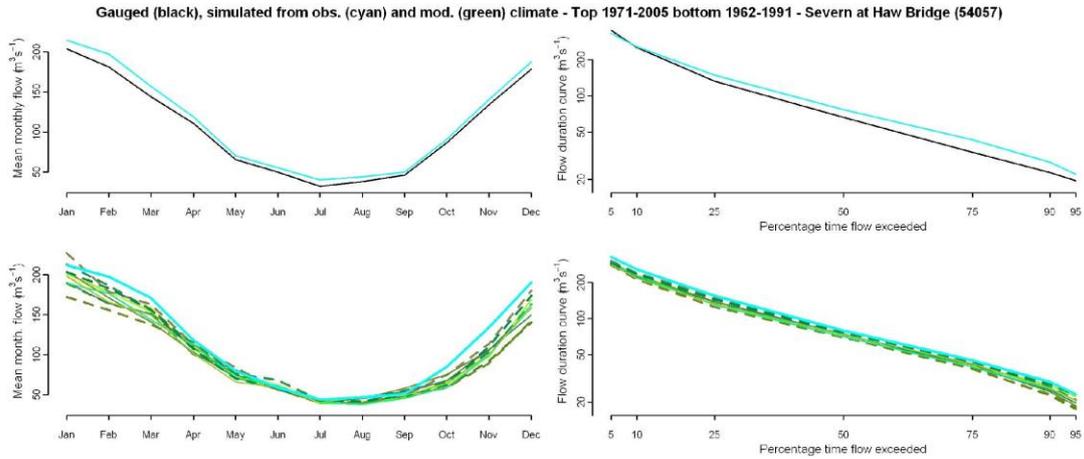


Observed Data Comparison of gauged and simulated flow Model used: CLASSIC

	Mean Annual	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Nash Sutcliffe
MORECS (1971-2005)	7.4	5.1	8.9	8.9	7.5	7.8	10.1	24.5	15.5	7.5	4.6	4.7	5.2	0.93
Performance Band	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
FAO (1962-1991)	11.6	10.4	11.0	9.2	14.0	10.4	15.0	24.4	15.1	13.1	12.0	10.5	10.5	0.92
	Q90	Q75	Q50	Q25	Q5	RP2	RP5	RP10	RP20					
MORECS (1971-2005)	22.0	27.0	16.1	12.3	-6.0	6.5	9.1	7.4	3.3					
Performance Band	1	1	2	1	1									
FAO (1962-1991)	23.5	31.7	18.6	16.9	-0.5	6.2	8.7	9.4	9.4					



Comparison of gauged and simulated flow (observed and modelled climate)



Percentage difference between flow simulated from observed climate and Future Flows Climate

	afgcx	afixa	afixc	afixh	afixi	afixj	afixk	afixl	afixm	afixo	afixq
Annual	-9	-15	-9	-3	-11	-16	-12	-4	-11	-9	-13
January	0	-11	-7	4	0	-19	-11	1	-10	-4	-5
April	-9	-11	-2	1	-12	-2	-14	-3	-4	-10	-13
July	-8	-3	7	-6	-10	2	-3	0	-8	-5	-10
October	-20	-27	-27	-11	-14	-28	-16	-18	-28	-25	-24
Q90	-6	-23	-13	-2	-19	-22	-15	-8	-12	-6	-11
Q75	-8	-13	-8	-2	-11	-16	-12	-3	-12	-6	-7
Q50	-8	-12	-8	1	-10	-12	-7	-1	-11	-5	-9
Q25	-10	-16	-8	-1	-13	-20	-12	-4	-16	-8	-16
Q5	-8	-15	-10	-7	-12	-14	-15	-7	-9	-13	-15
RP2	-4	-9	-6	-2	-5	-9	4	-3	-5	-5	-7
RP10	-1	-9	4	-1	6	-6	7	-7	7	-4	6

Climate change graphs for 2050s

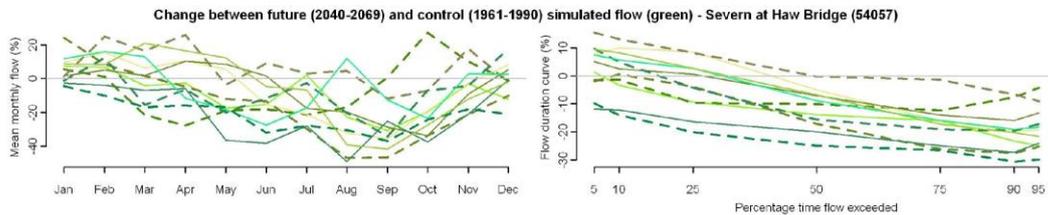


Figure 17 : Exemple de fiche de synthèse produite par le projet Future Flows and Groundwater Levels

8.2.3. La Suisse

La Suisse reste dynamique depuis la publication de son premier scénario climatique nationale en 2007 (CH2007, 2007). Elle a réitéré l'exercice deux fois CH2011 (2011) et CH2018 (2018). En parallèle des études nationales sur l'impact du changement climatique ont été réalisées sur la base des projections produites.

Les services climatiques

Le National Centre for Climate Services (NCCS, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home.html>) est un réseau de la confédération suisse dédié aux services climatiques. Ce réseau centré sur le climat est en charge de la coordination et de l'innovation sur la thématique de l'adaptation. Son objectif est la fusion des services climatiques, la promotion du dialogue et le développement conjoint. NCCS construit des services climatiques d'aide à la décision pour les secteurs administratifs, politiques et économiques, et pour la société autour de plusieurs thèmes :

- scénarios climatiques ;
- cycle hydrologique ;
- organismes nuisibles aux cultures ;
- fonctions de la forêt et changement climatique ;
- changement climatique et protection de la population ;
- santé humaine ;
- santé animale et sécurité des aliments ;
- climatologie de la grêle.

Une partie « Mesures » fournit une documentation large sur les documents nationaux et les projets en cours. Mais, on ne trouve pas d'outils, ni de documents pour accompagner l'analyse des scénarios climatiques. Les formations proposées se focalisent sur la réduction des émissions.

La mise à disposition des données

NCCS est en charge de la mise à disposition des données de CH2018 :

- Table de données : Il est nécessaire de remplir un formulaire pour demander les données du projet. Les données ne sont donc pas totalement en accès libre. ;
- Cartes nationales figées (format PDF) et des graphiques (format PDF et datafiles).

Le C2SM (Center for Climate Systems Modeling, ETH Zürich) met à disposition les données de CH2011 (<http://data.c2sm.ethz.ch/dataset/ch2011/>). Trois jeux de données sont disponibles :

- moyenne par saison des scénarios climatiques ;
- scénarios régionaux à résolution journalière basés sur des méthodes statistiques ;
- scénarios locaux à résolution journalière basés sur des descentes d'échelle dynamiques.

Tableau 10 : Synthèse des modélisations climatiques de CH2007, CH2011, CH2018

CONFIGURATION	CH2018	CH2011	CH2007
RÉGIONS	5 régions (nord-est, ouest, est et ouest des Alpes, sud des Alpes)	3 régions (nord-est, ouest, sud)	2 régions (nord, sud)
SOURCE DES MODÈLES	EURO-CORDEX CMIP5	Projet EU FP 6 ENSEMBLES	Projet EU FP 5 PRUDENCE
RÉSOLUTION SPATIALE	2 km	25 km	50 km
GCMS	12	8 jusqu'en 2050; 6 jusqu'en 2100	2
RCMS	7	14	8
GCM-RCM CHAÎNE	68 simulations	20 (2050), 14 (2100)	16
SCÉNARIO D'ÉMISSION	RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5	A1B A2 RCP3PD (ou RCP2.6)	A2; B2 avec échelonnage pour 35 scénarios d'émission sans atténuation
PÉRIODE	21 ^{ème} siècle	2020-2049 2045-2074 2070-2099	2030 2050 2070
PÉRIODE DE RÉFÉRENCE	1981-2010	1980-2009	1990
ESTIMATIONS DES INCERTITUDES	Représenté par l'ensemble de modèle	Approche bayésienne sur du multi-modèle	Multi-modèle
REFERENCE	(CH2018, 2018)	(CH2011, 2011)	(CH2007, 2007)

Les scénarios climatiques nationaux

CH2007 ou CH2050 produit par l'OCCC (Organe Consultatif sur les Changements Climatiques, www.occc.ch) a pour mission de diffuser des avis scientifiques aux acteurs économiques et politiques qui devaient servir de base pour définir les grandes orientations pour la Suisse. Ce

rapport consacre notamment une partie sur les impacts économiques et les risques induits par le changement climatique.

CH2011 fournit des scénarios avec la double volonté de fournir une source d'information détaillée pour les acteurs politiques et économiques, et de permettre des innovations scientifiques et la réalisation d'études d'impact. Les scénarios ont été élaborés dans le cadre d'une initiative coordonnée par ETH (Institute of Technology, Zürich) et MeteoSwiss en partenariat avec de nombreux instituts et centres de recherche.

Les scénarios climatiques de CH2018 sont la base de la stratégie d'« Adaptation aux changements climatiques en Suisse ». Il s'agit de définir avec précision les régions les plus vulnérables. Les besoins des utilisateurs ont été mieux pris en compte que lors des études antérieures.

Dans le Tableau 10, une synthèse des modélisations climatiques de CH2007, CH2011 et CH2018 est présentée.

Le secteur de l'eau

Le projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (Office Fédéral de l'Environnement, OFEV, 2012) a étudié les impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau en Suisse. Cette étude utilise les résultats du projet CH2011 couplé avec un seul modèle hydrologique PREVAH.

Cinq thématiques ont été abordées :

- le changement climatique ;
- les glaciers ;
- la neige ;
- les débits ;
- la température de l'eau.

Ce rapport étudie l'évolution des régimes hydrologiques en Suisse et synthétise les résultats au travers d'une classification. Les données produites et le rapport fournissent des données qualitatives sur l'évolution des débits sans quantification précise.

Le projet CH2014-Impacts (CH2014, 2014) est une volonté nationale d'évaluer les impacts du changement climatique en Suisse à partir des scénarios climatiques CH2011. L'étude est divisée en huit sous-parties : des indices (climat), la cryosphère, l'hydrologie, la biodiversité, les forêts, l'agriculture, l'énergie et la santé. La section sur l'hydrologie fournit des informations générales sur les évolutions en Suisse. L'étude s'est intéressée aux débits sur 186 bassins versants sous le climat présent et futur (2035 et 2085) sous un scénario médian A1B. Les incertitudes inhérentes à la modélisation hydrologique n'ont pas été prises en compte. Mais une analyse de dix scénarios climatiques alimentant quatre modèles hydrologiques (PREVAH-GIUB, PREVAH-WSL, HBV, WasiM-ETH 8.0.1) a été réalisée sur six bassins versants pour prendre en compte les incertitudes et évaluer les modifications hydrologiques. De plus, sept aquifères ont été étudiés pour évaluer l'évolution de la température de l'eau souterraine et l'impact sur la qualité des eaux des aquifères.

Le projet Hydro-CH2018 (<https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/le-nccs/themes-prioritaires/cycle-hydrologique.html>) dont les objectifs sont :

- d'élaborer des scénarios hydrologiques reposant sur les scénarios climatiques actuels CH2018 ;
- de développer un monitoring hydrologique et de garantir sa pérennité ;
- de mieux comprendre les processus hydrologiques ;
- de préparer les bases techniques et scientifiques nécessaires aux mesures d'adaptation.

Le rapport de synthèse paraîtra en 2020. Il faudra attendre sa parution pour évaluer les usages que les acteurs pourront faire de cette nouvelle étude.

8.2.1. Quelques éléments dans d'autres pays européens

Certains pays ont également réalisé des études sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau. Dans le Tableau 11, une synthèse de trois études réalisées en Norvège, Irlande et Belgique est présentée.

Tableau 11 : Etudes prospectives nationales sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau en Europe

	CLIMATE IN NORWAY 2100	ROBUST ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE WATER SECTOR IN IRELAND	CLIMATE CHANGE IMPACT ON HYDROLOGICAL EXTREMES ALONG RIVERS AND URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN BELGIUM «CCI-HYDR»
PAYS	Norvège	Irlande	Belgique
HORIZON	2031-2060 ; 2071-2100	2050	2071-2100
SCENARIO	2.6 ; 4.5 ; 8.6	A2, B2	A2 ; B2 SRES
PERIODE DE REFERENCE	1971-2000	...	1961-1990
RESOLUTION SPATIALE	1x1 km ²	Point prélèvement/ observation	49 km à 59 km
CHAINES DE MODELISATION CLIMATIQUES	Euro-Cordex	HadCM3, CGCM2, CSIRO + empirically statistically downscaled	PRUDENCE (2 GCMs et 11 RCMs) et résultat AR4 pour les incertitudes. puis sélection de 6 RCMs
MODELES HYDROLOGIQUES	HBV	HYSIM	Delta change approche et SCHEME sur la Meuse et le Scheldt
FORMATS DE RESTITUTION	Rapport.	Outils d'aide à la décision. Rapport.	Outil pour utiliser les scénarios climatiques dans les modélisations hydrologiques. Rapport.
REFERENCE	(Hanssen-Bauer et al., 2017)	(Hall et al., 2012)	(Willems et al., 2010)

9. Bibliographie

AcclimaTerra, 2018. Anticiper les changements climatiques en nouvelle aquitaine. Pour agir dans les territoires. Editions Région Nouvelle-Aquitaine. 488 pp.

AFB (Agence française pour la biodiversité), MTES (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire). nd. EXPLORE2070. Le portail technique de l'AFB. Disponible sur : <https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/node/44> (Consulté le 05 août 2019).

Arlot M.-P., 2019. Le projet AdaMont, enjeux, valeurs et fondements méthodologiques, *Revue Science Eaux & Territoires, Changement climatique : quelle stratégie d'adaptation pour les territoires de montagne ?*, 28, 8-11.

Baptist F., Poulet N., Séon-Massin N., 2014. Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation. ONEMA, Collection « Comprendre pour agir », 129 pp.

BRGM, 2018. Recharge : réponse des eaux souterraines au changement climatique dans le bassin Adour-Garonne. Dans *Production Scientifique : Projets*. [En ligne]. Disponible sur <https://www.brgm.fr/projet/recharge-reponse-eaux-souterraines-changement-climatique-bassin-adour-garonne> (Consulté le 14 août 2019).

Carroget A., Perrin C., Sauquet E., Vidal J.-P., Chazot S., Chauveau M., Rouchy N., 2017. Explore2070 : quelle utilisation d'un exercice prospectif sur les impacts des changements climatiques à l'échelle nationale pour définir des stratégies d'adaptation ? *Sciences Eaux & Territoires*, 42, 4-10.

CH2007, 2007. Les changements climatiques et la Suisse en 2050 – Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie. 2007. OCCC/ProClim, Bern, Switzerland, 172 pp.

CH2011, 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OCCC, Zurich, Switzerland, 88 pp., ISBN: 978-3-033-03065-7

CH2014, 2014. Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland, published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp., <http://ch2014-impacts.ch>

CH2018, 2018. CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp., ISBN: 978-3-9525031-4-0

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 ? *La Houille Blanche*, 4: 5-15.

Chazot S., Perrin C., Vidal J.P., Sauquet E., Chauveau M., Rouchy N., 2012. EXPLORE 2070- Lot Hydrologie de surface : A1-Rapport de synthèse. Ministère de l'écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. 148 pp.

Dayon G., Boé J., Martin E., Gailhard J., 2018. Impacts of climate change on the hydrological cycle over France 609 and associated uncertainties. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(4): 141-153.

Dilling L., Lemos M. C., 2011. Creating Usable Science: Opportunities and Constraints for Climate Knowledge Use and Their Implications for Science Policy. *Global Environmental Change*, 21(2): 680-89.

Hall J., Murphy C., Sweeney J., 2012. Robust Adaptation to Climate Change in the Water Sector in Ireland. CCRP Report. ISBN: 978-1-84095-446-3. Environmental Protection Agency, 50 pp.

Hanger S., Pfenninger S., Dreyfus M., Patt A., 2013. Knowledge and Information Needs of Adaptation Policy-Makers: A European Study. *Regional Environmental Change*, 13(1): 91-101. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0317-2>.

Hanssen-Bauer I., Førland E.J., HaddeLand I., Hisdal H., Lawrence D., Mayer S., Nesje A., Nilsen J.E.Ø., Sandven S., Sandø A.B., Sorteberg A., Ådlandsvik B., 2017. Climate in Norway 2100 – a knowledge base for climate adaptation. NCCS report no.1/2017. Norwegian Environment Agency (Miljødirektoratet), 48 pp.

Haarsma, R. J., Roberts, M. J., Vidale, P. L., Senior, C. A., Bellucci, A., Bao, Q., Chang, P., Corti, S., Fučkar, N. S., Guemas, V., von Hardenberg, J., Hazeleger, W., Kodama, C., Koenigk, T., Leung, L. R., Lu, J., Luo, J.-J., Mao, J., Mizielinski, M. S., Mizuta, R., Nobre, P., Satoh, M., Scoccimarro, E., Semmler, T., Small, J., von Storch, J.-S. 2016. High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP v1.0) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.*, 9, 4185–4208, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-4185-2016>.

Ho E. H., Budescu D. V., 2019. Climate Uncertainty Communication. *Nature Climate Change*, 1-2, 58/63

<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0606-6>.

Hulme M., Jenkins G. J., Lu X., Turnpenny J. R., Mitchell T. D., Jones R. G., Lowe J., Murphy J. M., Hassell D., Boorman P., Mc Donald R., Hill, S., 2002. Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK, 120 pp.

IPCC, 2014. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 32 pp.

Klenk N., Meehan K., 2015. Climate Change and Transdisciplinary Science: Problematizing the Integration Imperative. *Environmental Science & Policy*, 54: 160-67. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.05.017>.

Laudien R., Boon E., Goosen H., van Nieuwaal K., 2019. The Dutch Adaptation Web Portal: Seven Lessons Learnt from a Co-Production Point of View. *Climatic Change*, 153, 4: 509-21. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2179-1>.

Lemos M., Kirchhoff C., Ramprasad V., 2012. Narrowing the climate information usability gap. *Nature Clim Change*, 2, 789–794, <https://doi.org/10.1038/nclimate1614>.

Ligtvoet W. et al., 2013. The effects of Climate Change in the Netherlands: 2012, The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 92 pp.

Meadow A. M., Ferguson D. B., Guido Z., Horangic A., Owen G., Wall T., 2015. Moving toward the Deliberate Coproduction of Climate Science Knowledge. *Weather, Climate, and Society*, 7(2): 179-91. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-14-00050.1>.

Météo-France, CERFACS, Institut Pierre Simon Laplace, 2011. Drias^{les futurs du climat}. Dans : Accueil. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.drias-climat.fr/> (Consulté le 05 août 2019).

MTES (Ministère de la transition écologique et solidaire), 2016. EXPLORE 2070. Dans : CARTELIE [en ligne]. Disponible sur : <http://cartelie.application.equipement.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=Explore2070&service=DGALN> (Consulté le 02/08/2019).

Murphy J. M., Harris G.R., Sexton D.M.H., Kendon E.J., Bett P.E., Clark R.T., Eagle K.E., Fosse G., Fung F., Lowe J.A., McDonald R.E., McInnes R.N., McSweeney C.F., Mitchell J.F.B., Rostron J.W., Thornton H.E., Tucker S., Yamazaki K., 2018. « UKCP18 Land Projections: Science Report ». Met Office Hadley Centre, Exeter, 191 pp.

Murphy J. M., Sexton D. M. H., Jenkin G. J., Boorman P. M., Booth B. B. B., Brown C. C., Clark R. T., Collins M., Harris G. R., Kendon E. J., Betts R. A., Brown S. J., Howard T. P., Humphrey K. A., Mc Carthy M. P., Mc Donald R. E., Stephens A., Wallace C., Warren R., Wilby R., Wood R. A., 2009. UK Climate Projections Science Report: Climate change projections. Met Office Hadley Centre, Exeter, 193 pp.

Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), 2012. Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro). Office fédéral de l'environnement, Berne. *Connaissance de l'environnement*, 1217: 76 pp. https://sciencesnaturelles.ch/topics/water/climate_change_and_hydrology/5623-impacts-des-changements-climatiques-sur-les-eaux-et-les-ressources-en-eau

Palutikof J. P., Street R. B., Gardiner E. P., 2019. Decision Support Platforms for Climate Change Adaptation: An Overview and Introduction. *Climatic Change*, 153(4): 459-76, <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02445-2>.

Porter J. J., Dessai S., 2016. Is Co-Producing Science for Adaptation Decision- Making a Risk Worth Taking?, Centre for Climate Change Economics and Policy Working, paper No. 263, Sustainability Research Institute, paper n° 96. Disponible sur <https://www.cccep.ac.uk/publication/is-co-producing-science-for-adaptation-decision-making-a-risk-worth-taking>

Porter J. J., Dessai S., 2017. Mini-Me: Why Do Climate Scientists' Misunderstand Users and Their Needs? Elsevier Enhanced Reader. *Environmental Science and Policy*, 77: 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.004>.

Prudhomme C., Haxton T., Crooks S., Jackson C., Barkwith A., Williamson J., Kelvin J., Mackay J., Wang L., Young A., Watts G., 2013. Future Flows Hydrology: an ensemble of daily river flow and monthly groundwater levels for use for climate change impact assessment across Great Britain. *Earth Syst. Sci.*

Data, 5, 101–107, <https://doi.org/10.5194/essd-5-101-2013>.

Ray P.A., Brown C.M. 2015. *Confronting Climate Uncertainty in Water Resources Planning and Project Design: The Decision Tree Framework*. Washington, DC: World Bank.

Romero Y. L., Bessembinder J., van de Giesen N. C., van de Ven F. H. M., 2011. A Relation between Extreme Daily Precipitation and Extreme Short Term Precipitation. *Climatic Change*, 106(3): 393-405. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9955-x>.

Sauquet E., Richard B., Devers A., Prudhomme C., 2019. Water restrictions under climate change: a Rhone-Mediterranean perspective combining ‘bottom up’ and ‘top-down’ approaches. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23: 3683-3710. <https://doi.org/10.5194/hess-23-3683-2019>.

Skelton M., Fischer A. M., Liniger M. A., Bresch D. N., 2019. Who Is ‘the User’ of Climate Services? Unpacking the Use of National Climate Scenarios in Switzerland beyond Sectors, Numeracy and the Research–Practice Binary. *Climate Services*, 15: 100113. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.100113>.

Skelton M., Porter J. J., Dessai S., Bresch D. N., Knutti R., 2017. The Social and Scientific Values That Shape National Climate Scenarios: A Comparison of the Netherlands, Switzerland and the UK. *Regional Environmental Change*, 17(8): 2325-38. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1155-z>.

Steynor A., Gawith M., Street R., 2012. Engaging Users in the Development and Delivery of Climate Projections: The UKCIP Experience of UKCP09, 2012, s. d., 20.

van den Hurk B., Klein Tank A., Lenderink G., van Ulden A., van Oldenborgh G. J., Katsman C., van den Brink H., Keller F., Bessembinder J., Burgers G., Komen G., Hazeleger W., Drijfhout S., 2006. *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*. KNMI Scientific Report WR 2006-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands.

van den Hurk B., Siegmund P., Klein Tank A. (Eds), Attema J., Bakker A., Beersma J., Bessembinder J., Boers R., Brandsma T., van den Brink H., Drijfhout S., Eskes H., Haarsma R., Hazeleger W., Jilderda R., Katsman C., Lenderink G., Loriaux J., van Meijgaard E., van Noije T., van Oldenborgh G. J., Selten F., Siebesma P., Sterl A., de Vries H., van Weele M., de Winter R., van Zadelhoff G. J., 2014. *KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective*. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands, www.climate-scenarios.nl

Vano J. A., Arnold J. R., Nijssen B., Clark M. P., Wood A. W., Gutmann E. D., Addor N., Hamman J., Lehner F., 2018. DOs and DON'Ts for using climate change information for water resource planning and management: guidelines for study design, *Clim. Serv.*, 12, 1–13, doi:10.1016/j.cliser.2018.07.002, 2018

Verfaillie, D., Déqué, M., Morin, S., Lafaysse, M., 2017. The method ADAMONT v1.0 for statistical adjustment of climate projections applicable to energy balance land surface models. *Geosci. Model Dev.*, 10, 4257–4283, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4257-2017>.

Verweij W., van der Wiele J., van Moorselaar I., van der Grinten E., 2010. Impact of climate change on water quality in the Netherlands. Report 607800007/2010. National Institute for Public Health and the Environment, 63 pp.

Warszawski L., Frieler K., Huber V., Piontek F., Serdeczny O., Schewe J., 2014. The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISI-MIP): Project framework. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 111(9): 3228-3232; <https://doi.org/10.1073/pnas.1312330110>.

Willems P., Baguis P., Ntegeka V., Roulin E., 2010. Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems in Belgium «CCI-HYDR» Final Report. Brussels: Belgian Science Policy 2010, 110 pp. (Research Programme Science for a Sustainable Development).

10. Table des illustrations

Figure 1 : Code de quantification des affirmations	21
Figure 2 : Structures des personnes interrogées lors du questionnaire en ligne	22
Figure 3 : Territoires de gestion de la population interrogée lors du questionnaire en ligne	23
Figure 4 : Secteurs d'activité des personnes ayant répondu au questionnaire	23
Figure 5 : Freins à l'utilisation d'Explore2070 (possibilité de cocher une ou plusieurs des quatre propositions à la question « Y-a-t-il eu des freins à votre usage d'Explre2070 ? »)	24
Figure 6 : Utilisation des supports (résultats du questionnaire en ligne)	24
Figure 7 : Exemple de fiche de synthèse	25
Figure 8 : Utilisation des lots (en réponse à la question "Quels lots avez-vous utilisés ?", les acteurs pouvaient classer les lots de 1 à 7 en fonction des leurs utilisations sans obligation de classer tous les lots)	27
Figure 9 : Chronologie d'études prospectives réalisées sur des territoires de France métropolitaine .	29
Figure 10 : Réponse à la question les points de vigilance d'une nouvelle étude.....	31
Figure 11 : L'horizon attendu par les acteurs (les acteurs avaient la possibilité de cocher plusieurs horizon).....	32
Figure 12 : Scénario climatique attendu (les acteurs avaient la possibilité de choisir plusieurs options)	32
Figure 13 : Résolution temporelle souhaitée par les acteurs	32
Figure 14 : La résolution spatiale attendu (les acteurs avaient la possibilité de ne choisir que l'un des deux options ou autre).....	33
Figure 15 : Support spécifique de diffusion attendu (en réponse à la question "Quel type de support serait le plus adapté à votre utilisation ?" avec la possibilité de sélectionner une ou plusieurs proposition).....	36
Figure 16 : Format de l'accompagnement (en réponse à la question "Quels formats cet accompagnement devrait-il prendre pour répondre à votre besoin? " avec la possibilité de sélectionner plusieurs options)	37
Figure 17 : Exemple de fiche de synthèse produite par le projet Future Flows and Groundwater Levels	54
Tableau 1 : Descriptif des lots de l'étude Explore2070	9
Tableau 2 : Grille d'entretien	20
Tableau 3 : Les acteurs interrogés	21
Tableau 4 : Bilan des indicateurs demandés par les acteurs interrogés au cours de l'enquête.	35
Tableau 5 : Résumé de la France par Climate-adapt (https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/france)	45
Tableau 6 : Spécificité technique des simulations SWICCA	46
Tableau 7 : Indicateurs fournis par SWICCA	47
Tableau 8 : Synthèse des modélisations climatiques de KNMI'06 et KNMI'14.....	48
Tableau 9 : Synthèse des modélisations climatiques de UKCP09 et UKCP18	50
Tableau 10 : Synthèse des modélisations climatiques de CH2007, CH2011, CH2018	55
Tableau 11 : Etudes prospectives nationales sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau en Europe	57

11.Remerciements

Nous remercions l'ensemble des personnes qui ont bien voulu consacrer de leur temps pour répondre au questionnaire et se soumettre aux entretiens. Merci également aux membres du comité de pilotage de cette étude.

Irstea

1, rue Pierre-Gilles de Gennes

CS 10030

92761 Antony Cedex

01 40 96 61 21

www.irstea.fr

Agence Française pour la Biodiversité

Hall C – Le Nadar

5, square Félix Nadar

94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.afbiodiversite.fr