

Intégration du changement climatique dans les prochains SDAGE et programmes de mesures associés

Synthèse de ce qu'il faut retenir

Les points fondamentaux à retenir :

- Le changement climatique est un sujet transversal intégré dans l'ensemble des SDAGE ;
- Tous les bassins ont intégré un état des connaissances de l'impact du changement climatique ;
- Tous les bassins métropolitains ont adopté un plan ou une stratégie d'adaptation au changement climatique ;
- Les plans de bassin ont irrigué les orientations du SDAGE mais aussi les autres documents de planifications sur les territoires ;
- Des orientations, dispositions et mesures spécifiques concernant l'adaptation au changement climatique sont inscrites dans les SDAGE et PDM ;
- Les mesures sans regret et multifonctionnelles sont privilégiées ;
- Une vigilance doit être apportée aux risques de maladaptation.

1) Introduction

La directive-cadre sur l'eau (DCE) établit un cadre légal visant à garantir une utilisation durable de la ressource en eau. Même si le texte de la DCE adopté en 2000 ne fait pas explicitement référence au changement climatique, les travaux menés depuis au niveau européen ont conduit à une prise de conscience progressive et partagée des impacts présents et à venir du changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau.

En 2008, les directeurs de l'eau des différents Etats membres de l'Union européenne publient une position commune (CIS-WFD, 2008) dans laquelle il est demandé à ce que les programmes de mesures associés aux prochains SDAGE (2016-2021 et 2022-2027) soient rendus résilients vis-à-vis du climat. La prise en compte du changement climatique pourra se traduire par des efforts d'amélioration des données disponibles, une vérification itérative de la pertinence des mesures retenues compte tenu des évolutions attendues du climat (« climate check »), le lancement de démarches prospectives à même d'intégrer l'ensemble des enjeux de l'eau sous influence climatique (aménagement du territoire, gestion par l'offre ou la demande en eau, etc), l'amélioration de la surveillance pour détecter les impacts du changement climatique. En 2009, un premier document de référence, [le guide n°24](#) relatif à « la gestion des bassins hydrographiques en contexte de changement climatique » s'appuie sur ces premières propositions. Il insiste sur la nécessité de vérifier que les mesures retenues dans les plans de gestion ne vont pas à l'encontre des enjeux d'adaptation (notamment en cas de nouvelles infrastructures envisagées) et qu'elles soient suffisamment flexibles et robustes pour être pertinentes sous conditions climatiques changeantes. En 2015, [le guide n°34](#) relatif à « l'utilisation des bilans hydriques pour la mise en œuvre de la DCE » vient compléter ce premier guide. Ces bilans hydriques, entre ressource disponible et demande en eau, doivent être calculés à l'échelle d'entités hydrologiquement cohérentes comme un premier diagnostic nécessaire à la mise en œuvre et à la réalisation des objectifs de la DCE. Il est recommandé de calculer ces bilans hydriques sous différents scénarios climatiques afin d'évaluer les évolutions possibles de la ressource et de la demande en eau et ainsi de vérifier la pertinence des programmes de mesures à moyen et long terme.

A chaque cycle, la commission européenne analyse la mise en œuvre de la DCE dans les Etats membres et produit des rapports émettant des recommandations (https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/impl_reports.htm). Le dernier date de 2019, une des recommandations adressées à la France porte sur le changement climatique. Il s'agit d'assurer une meilleure coordination entre les stratégies d'adaptation, notamment entre la stratégie relative aux inondations et le plan national d'adaptation. Il est également recommandé d'approfondir le sujet de la sécheresse et de construire un programme de gestion spécifique dans les zones où il y aurait déjà des tensions.

En plus de ces documents spécifiques à la mise en œuvre de la DCE, le sujet de l'eau et de l'adaptation au changement climatique est mentionné dans différents rapports, plans et stratégies :

- A l'échelle internationale le volume 2 du sixième rapport du GIEC sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité, a été publié le 28 février 2022 et alerte sur les pénuries d'eau (IPCC, 2022). Les experts invitent à une approche intégrée et à une transformation de la société. Ce rapport alerte également sur les risques de maladaptation qui peuvent créer des verrous coûteux et difficiles à modifier.
- [La nouvelle stratégie de l'Union européenne pour l'adaptation au changement climatique](#), publiée le 24 février 2021, insiste sur l'urgence d'agir maintenant compte-tenus des impacts du changement climatique déjà constatés au sein de l'Europe. Parmi ces impacts, ceux relatifs à l'augmentation des sécheresses et à leurs conséquences socio-économiques sont spécifiquement décrits. Les objectifs de la stratégie dans ce domaine sont d'assurer un accès

durable à l'eau douce, de réduire la consommation d'eau et d'assurer la qualité de l'eau. Les solutions fondées sur la nature sont particulièrement mises en avant.

L'agence environnementale européenne a également publié deux rapports en 2020 et 2021 s'intéressant aux impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques et aux politiques d'adaptation associées. Le premier relatif à la mise en œuvre des politiques d'adaptation, produit par le JRC, souligne l'effort réalisé par l'ensemble des Etats membres pour l'élaboration de plans nationaux d'adaptation au changement climatique dans les récentes années (Bisselink *et al.*, 2020). Il est recommandé d'augmenter le suivi et l'évaluation des solutions fondées sur la nature afin d'aider à identifier les meilleures solutions et les possibles compromis à réaliser en matière d'adaptation. [Le deuxième rapport relatif aux risques liés au changement climatique](#) explore différents indices climatiques afin de fournir à l'ensemble des Etats membres une vision homogène des risques à l'échelle de l'Europe. Un chapitre entier est consacré aux risques liés aux ressources en eau et aux évènements extrêmes, inondations et sécheresses. Les risques sur les inondations sont plus incertains en particulier sur la partie sud de l'Europe contrairement aux risques liés aux sécheresses dans cette même partie de l'Europe.

La plateforme européenne [Climate-ADAPT](#) récapitule les différentes politiques publiques en matière d'adaptation des Etats membres. Le tableau ci-dessous récapitule les initiatives françaises :

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	Driaz 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 Effects 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)

- A l'échelle nationale, le principal document est le [deuxième plan national d'adaptation au changement climatique](#), publié en 2018. Il a pour objectif de mettre en œuvre les actions nécessaires pour adapter les territoires aux changements climatiques régionaux attendus d'ici à 2050. Dans le domaine de l'eau, en cohérence avec la stratégie européenne, il s'agit d'encourager la sobriété et l'efficacité des usages, mettre en place des solutions adaptées aux territoires, améliorer la qualité de l'eau et préserver les écosystèmes naturels. Le troisième plan national sera élaboré en 2023.

Le contenu des principaux documents publiés sur la prise en compte du changement climatique dans les politiques publiques européennes et nationales est résumé dans le tableau en annexe 1.

Cette note a pour objectif d'expliquer à la commission européenne la prise en compte du changement climatique dans les documents de planification de l'eau (schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau) en France depuis 2015, à l'échelle des grands bassins hydrographiques.

2) Connaissances acquises sur les impacts du changement climatique sur la ressource en eau et les milieux aquatiques

L'évaluation des impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau du bassin constitue l'étape préalable indispensable à toute réflexion sur l'intégration du changement climatique dans les SDAGE 2022-2027

Les résultats les plus récents dans le domaine de l'eau prévoient que des températures plus élevées et des changements dans les conditions météorologiques extrêmes affecteront notamment la fréquence et la distribution des précipitations, la couverture neigeuse, le niveau des mers, les ressources et la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines (Crespi *et al.*, 2020 ; IPCC, 2021, 2022). La nature de ces changements et l'importance vitale des enjeux qu'ils affectent font de l'eau le vecteur par lequel le changement climatique impacte les écosystèmes aquatiques, les usages de l'eau, les modes de vies et de développement des territoires.

L'adaptation est à décliner pour tous les secteurs socio-économiques, à différentes échelles spatiales (de la ville au continent, en passant par les bassins, les zones côtières ou montagneuses, ...) et temporelles (de quelques années à plusieurs décennies) et dans les contextes les plus variés. Elle nécessite d'appréhender une diversité de problématiques concernant la maîtrise des risques, l'adéquation entre certaines activités humaines et la disponibilité en eau, la protection des milieux naturels (ex. milieux aquatiques) ou l'aménagement du territoire (ex. l'adaptation des espaces côtiers face au risque de submersion temporaire).

Ainsi, il est indispensable, avant d'aborder l'adaptation au changement climatique à l'échelle du bassin, d'avoir une bonne connaissance de la diversité spatiale et temporelle du changement climatique et de ses impacts sur les différents territoires.

Pour répondre à cet objectif de développement de connaissances, un premier programme de recherche intitulé « Gestion et Impact du Changement Climatique » (GICC) a été lancé en 2012 à l'échelle nationale.

Le projet Explore 2070 et les initiatives nationales

Le projet Explore 2070 issu du programme GICC a été la première prospective nationale dans le domaine de l'eau. 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 couvert des domaines aussi variés que l'hydrologie ou les risques littoraux en passant par les écosystèmes aquatiques, l'hydrogéologie ou la prospective socio-économique dans le but de consolider une vision systémique des impacts liés aux changement climatique. Il a été divisé en huit lots :

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 projet a notamment produit des projections de débits à une échelle relativement fine (1522 points de simulation) à partir de 14 projections climatiques issues de 2 modèles hydrologiques, 7 modèles de climat, et 1 scénario d'émissions de gaz à effet de serre du 3^{ème} exercice d'intercomparaison de modèles climatiques du GIEC (CMIP3). Cette production a permis aux différents bassins 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. Le contenu du projet est détaillé en Annexe 6 concernant la méthode et en Annexe 7 concernant les résultats. La modélisation hydroclimatique a également pu être utilisée pour définir la vulnérabilité des territoires du bassin Rhône Méditerranée et son plan d'adaptation dès 2014, méthode qui sera ensuite reprise suite à la COP21 par d'autres grands bassins hydrographiques en France.

Au-delà des données fournies par le projet, les différents lots ont chacun fait l'objet de rapport. Concernant les impacts sur les milieux aquatiques, on peut citer « Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation » (Onema, 2014) qui est une des rares synthèses à aller des projections climatiques jusqu'aux impacts sur la biodiversité aquatique.

L'exercice suivant du GIEC, CMIP5, a également fait l'objet d'une régionalisation à l'échelle de la France métropolitaine et d'une traduction des impacts sur les débits à l'aide d'un modèle hydrologique (Dayon, 2015). Ces données ont alimenté les réflexions pour l'élaboration de la stratégie d'adaptation du bassin Seine-Normandie.

Le retour d'expérience sur l'utilisation des résultats d'Explore 2070 a montré que celle-ci n'a pas été optimale faute de canal de diffusion officiel, pérenne et public, et d'un accompagnement des utilisateurs de ces données. C'est pourquoi, deux nouveaux projets complémentaires Explore2 et le projet Life Eau et Climat viendront alimenter l'actualisation des stratégies d'adaptation nationale et régionales. Explore2 s'appuie sur les dernières avancées scientifiques pour produire des projections hydro-climatiques et le projet Life Eau & Climat s'appuie sur l'expérience acquise dans le cadre de développement des services climatiques (notamment avec le portail DRIAS de Météo-France, cf. Annexe 2) pour aider les acteurs de la gestion des ressources en eau à évaluer les effets du réchauffement climatique et à les prendre en compte dans la planification et mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Ces deux outils sont utilisés pour la production des nouvelles cartes de vulnérabilités des territoires sur le bassin Rhône Méditerranée attendue en 2022 en vue de la révision du plan d'adaptation.

Les études prospectives régionales

Dans le projet Explore2070, le lot sur les scénarios d'évolution démographique et socio-économique 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 pour notamment des raisons d'acceptabilité locale de l'étude. Ainsi, tous les bassins hydrographiques français ont également conduit des études pour améliorer les connaissances de l'impact des changements climatiques sur la ressource en eau et la vulnérabilité du territoire. Les principales initiatives régionales sont listées en Annexe 3.

La mise en place de groupes régionaux d'experts sur le climat

Des groupes d'experts régionaux sont mis en place ou sont en cours de constitution sur le territoire français. Ils mobilisent les réseaux de chercheurs et d'acteurs territoriaux (publics, privés) afin de

faciliter l'aide à la décision en matière de changements climatiques à l'échelle régionale et locale, de transférer les connaissances scientifiques, de collecter les besoins des acteurs du territoire et de favoriser leur participation à des projets de recherche à l'interface entre les sphères académiques et non académiques.

Exemples de groupes d'experts dans les différentes régions :

AcclimaTerra	Région Nouvelle-Aquitaine
GREC-SUD	Région Provence-Alpes-Côte d'Azur
RECO	Région Occitanie
Ouranos-AuRa	Région Auvergne-Rhône-Alpes
GREC Guadeloupe / Synergîle- Guadeloupe	Guadeloupe
GREC Francilien	Région Île de France
CERCLE/Climbio/cerdd	Région Hauts-de-France
GIEC Normand	Région Normandie
GIEC des Pays de la Loire	Region Pays de la Loire

La création de deux nouveaux groupements d'experts est en cours de réflexion, un groupement Corse et un groupement Bretagne animé par le Creseb.

Ils font parfois suite à des études prospectives. Des observatoires du changement climatique existent également dans certaines régions et peuvent contribuer à la connaissance.

3) Les plans de bassins d'adaptation au changement climatique

Objectif : Définir un cadre d'actions concrètes pour l'adaptation au changement climatique

Entre 2014 et 2018, les six agences de bassins hydrographiques métropolitains ont adopté des plans de bassin d'adaptation au changement climatique (PBACC). En s'appuyant sur le bilan des connaissances sur leur territoire, ces plans de bassin ont identifié les phénomènes auxquels les territoires doivent se préparer et proposent un cadre et des actions concrètes, en privilégiant les actions sans regret et multifonctionnelles.

Bassin	Date	Adaptation/atténuation	Méthode
RMéd	Plan validé en mai 2014	adaptation principalement (hors stations d'épuration du futur biomasse et énergie	Etat des connaissances, analyse de vulnérabilité, plan (en révision en 2022)
SN	Stratégie votée en décembre 2016.	Adaptation mais les mesures valables aussi pour atténuer sont à privilégier.	Etat des connaissances. Plan (11 réponses stratégiques et 46 actions illustrées d'exemples)
AG	Plan voté en juillet 2018	Uniquement adaptation	Etat des connaissances, analyse de vulnérabilité, plan.
RM	Plan voté en juillet 2018	Adaptation et atténuation	Etat des connaissances (tome spécifique au changement climatique dans le SDAGE), plan
AP	Plan voté en novembre 2016	Uniquement adaptation	Etat des connaissances (« regards croisés »)
LB	Plan adopté en juin 2018	Uniquement adaptation	Etat des connaissances, analyse de vulnérabilité, plan
Corse	Plan voté en septembre 2018	Uniquement adaptation	Etat des connaissances, analyse de vulnérabilité, plan, cartes plus territorialisées

Tableau de synthèse des démarches pour l'élaboration des plans de bassin d'adaptation au changement climatique

Une sensibilisation des acteurs des territoires et une animation autour de cette thématique ont été conduites sur tous les bassins pour diffuser les messages et mettre en place des démarches et actions.

En 2018, suite à l'adoption des plans de bassins, une note commune inter-agences « agir pour ne pas subir » a été publiée afin d'émettre des recommandations à l'attention des élus et des décideurs économiques.

Cette note met en évidence les deux grands principes sur lesquels reposent l'ensemble des plans : la promotion des actions sans-regret et multifonctionnelles et la réduction de la sensibilité du territoire ou du secteur d'activité considéré aux incidences du changement climatique. Des leviers d'action communs ont

été identifiés pour répondre à quatre principaux impacts du changement climatique sur la ressource en eau et le milieu aquatique.

- « **Face à l'assèchement des sols**, la stratégie consiste d'une part à limiter les pratiques ou aménagements qui l'amplifient, et d'autre part, à développer des productions agricoles plus tolérantes aux sécheresses »
- « **Face à la raréfaction de la ressource en eau**, la stratégie consiste à agir pour gagner en efficacité dans la sollicitation des ressources disponibles, à satisfaire les besoins des milieux aquatiques, à partager équitablement l'eau en convergeant vers une solidarité entre usagers, à lutter contre les gaspillages, à développer des usages plus sobres en eau afin de réduire leur sensibilité aux aléas, à favoriser la rétention d'eau dans les sols, mais aussi lorsque c'est nécessaire, à stocker l'eau dans des réserves collectives notamment multi-usages dans le cadre des projets de territoires qui le prévoient. »
- « **Face à la dégradation des habitats favorables à la biodiversité**, la stratégie consiste à préserver ou restaurer le bon fonctionnement des milieux aquatiques, humides ou littoraux de façon à favoriser la biodiversité et leur capacité de résilience. »
- « **Face à l'aggravation des inondations, des submersions ou de l'érosion du littoral**, la stratégie consiste à intégrer le changement climatique dans les plans de gestion des risques et à agir en complément pour limiter les ruissellements extrêmes ou restaurer les services assurés par les milieux aquatiques sur la régulation des inondations. »

En Loire-Bretagne, le choix a été fait de donner une large place à la concertation afin de co-construire le plan. C'est la raison pour laquelle une consultation du public et des assemblées a été organisée en 2017 sous les mêmes formes que pour le plan de gestion du district (mise à disposition des documents, questionnaire, avis...). Elle a été conduite sur la base d'un projet proposé par le comité de bassin. Dans ce cadre, des forums de l'eau, séminaires ouverts au public le plus large, ont été organisés, au cours desquels des scientifiques ont présenté le changement climatique, ses conséquences et des pistes de solutions adaptées.

Pour le bassin Seine-Normandie, des témoignages d'acteurs sont diffusés tous les mois dans la newsletter du comité de bassin.

Pour le bassin Rhône Méditerranée, on peut citer la création d'une vidéo sur YouTube (58000 visiteurs), l'organisation d'une journée connaissance « eau et changement climatique » sur le bassin en 2015 (200 personnes, 2015), ainsi que l'accueil du colloque interagences « CC » en 2018 (800 personnes) ou la participation à l'EuroRIOB en 2012 à Istanbul dans le cadre des appuis à la coopération internationale ou encore l'organisation de journées auprès de collectifs d'agriculteurs ou de syndicats mixtes.

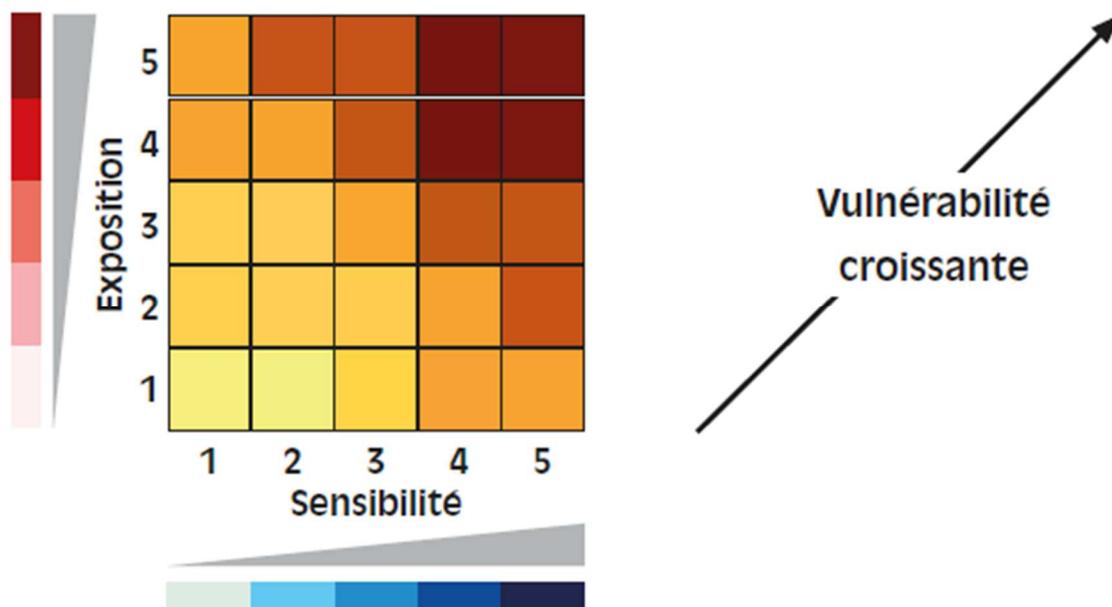
Pour le bassin Rhin Meuse, dans un souci de décloisonnement des réflexions et actions d'adaptation à mettre en œuvre, la présentation du plan d'adaptation Rhin Meuse a été faite au-delà des acteurs de l'eau, et notamment à destination des collectivités en charge des Plans Territoriaux Climat Air Energie.

Pour le bassin Artois-Picardie des actions de sensibilisation du grand public ont été menées à l'été 2021 : vidéos sur les réseaux sociaux, expositions, animations théâtrales, photos dans des lieux publics...

Pour tous les bassins ayant élaboré un plan ou une stratégie de bassin d'adaptation au changement climatique, les SDAGE 2022-2027 se sont appuyés sur les travaux conduits lors de l'élaboration de ces documents.

En termes de méthodes, plusieurs bassins se sont appuyés sur une analyse de vulnérabilité de leur territoire. Pour ces études, la vulnérabilité des territoires est définie comme le croisement entre l'exposition et la sensibilité du territoire au changement climatique. L'exposition correspond aux variations climatiques auxquelles le territoire est exposé et la sensibilité correspond aux caractéristiques du territoire qui le rendent plus ou moins fragile à une exposition donnée.

L'analyse de vulnérabilité est basée sur une évaluation à base de scores. Pour différents enjeux, l'exposition et la sensibilité sont évaluées sur une échelle de 1 (peu) à 5 (beaucoup). Les scores sont ensuite croisés :



Le degré de sensibilité est évalué pour différents paramètres en lien avec l'enjeu traité. Le degré d'exposition est évalué à partir de projections hydro-climatiques.

L'évaluation de la vulnérabilité permet d'obtenir des cartes présentant des territoires avec différents degrés de vulnérabilité. Ces cartes contribuent à identifier pour un enjeu donné, les parties du territoire les plus vulnérables ou la répartition des enjeux les plus vulnérables sur le territoire (cf. Annexe 4). Les cartes de vulnérabilité ont ensuite été utilisées comme diagnostic de départ pour l'élaboration de certains plans d'adaptation au changement climatique.

D'autres bassins ont choisi de ne pas réaliser d'études de vulnérabilité et ont établi des tendances d'impacts climatiques à l'échelle du bassin pour limiter les incertitudes liées aux projections climatiques et d'impacts aux échelles plus fines. Ces tendances permettent aussi de limiter les coûts d'études locales d'impacts du climat tout en tenant compte des caractéristiques du bassin et permettent de dresser les priorités d'adaptation du bassin.

En fonction de la date d'adoption des PBACC, les travaux réalisés pour leur élaboration ont fortement enrichi les différents SDAGE.

4) Inscription et mise en visibilité dans les documents du SDAGE

Objectif : Traduire les impacts attendus du changement climatique et les mesures d'adaptation choisies pour le bassin dans les orientations du SDAGE et le PDM

L'arrêté modifié du 17 mars 2006 du ministre chargé de l'écologie et du développement durable, fournit le contenu du SDAGE. Celui-ci comporte les orientations fondamentales, les objectifs environnementaux, les dispositions nécessaires pour atteindre ces objectifs, la liste des valeurs seuils et un résumé présentant la démarche d'adaptation au changement climatique. Aussi pour tous les bassins, il existe a minima un paragraphe consacré à la prise en compte du changement climatique dans les SDAGE (2016-2021). Le plan de bassin Rhône-Méditerranée a été publié en 2014 et a motivé la rédaction d'une orientation fondamentale 0, intitulée « S'adapter au changement climatique ». Les cartes de vulnérabilités mentionnées dans le paragraphe précédent ont ainsi été introduites dans cette orientation afin d'illustrer concrètement les niveaux d'effort nécessaires à réaliser pour l'ensemble du territoire.

Conséquences sur les orientations et dispositions du SDAGE ainsi que sur les mesures du PDM

Le changement climatique est un sujet identifié comme transversal dans l'ensemble des SDAGE. Sa prise en compte est donc mentionnée dans la majorité des orientations. Selon les priorités, des orientations ou dispositions sont spécifiquement consacrées à l'adaptation au changement climatique. Un schéma récapitulatif la prise en compte du changement climatique dans les SDAGE est présenté en Annexe 5.

Le contenu des dispositions et orientations ayant trait au moins en partie aux effets du changement climatique est ensuite décliné et précisé sous forme de **mesures à inscrire dans le programme de mesures (PDM)**. Il est possible de rassembler ces mesures en deux grands types :

- des mesures explicitement ciblées pour « l'adaptation au changement climatique », résultant de la déclinaison directe de priorités d'adaptation définies à l'échelle du bassin (par exemple, la réalisation d'économies d'eau, les changements de pratiques agricoles, etc.)
- des mesures qui contribuent à l'adaptation au changement climatique sans que ce soit l'objectif principal

Les impacts du changement climatique étant empreints d'incertitudes, les SDAGE invitent donc à la mise en place de mesures :

- sans regret qui seront bénéfiques quelle que soit l'ampleur du changement climatique sur le territoire,
- multifonctionnelles avec des bénéfices sur d'autres enjeux comme la biodiversité, la santé...

Parmi les solutions sans regret et multifonctionnelles, les SDAGE mentionnent les solutions fondées sur la nature en particulier pour la gestion des eaux pluviales, les économies d'eau et le stockage de l'eau dans les sols et les nappes, la prévention des inondations. Une étude menée par le projet Life ARTISAN, piloté par l'OFB a analysé la mobilisation des solutions fondées sur la nature pour l'adaptation au changement climatique (SAFN) dans les SDAGE et les PDM. Cette étude constate que ces solutions représentent une part non négligeable des mesures d'adaptation mais restent tout de même minoritaires face à une majorité de dispositions et de mesures « douces ». L'analyse des projets de SDAGE 2022-2027 montre que les enjeux d'adaptation et de biodiversité occupent une place accrue, avec des degrés de clarté variés selon les bassins.

Pour favoriser leur intégration aux documents de planification de la gestion de l'eau, l'étude préconise notamment de mieux fléchées les SAFN dans les textes comme dans le référentiel OSMOSE, qui sert de base à la rédaction des PDM déclinés en mesures opérationnelles sur le territoire.

Les SDAGE invitent également à éviter les mesures de maladaptation. La promotion des démarches prospectives sur les territoires et les analyses socio-économiques pour les aménagements et

infrastructures nouvelles permettent d'éclairer les décisions face aux effets du changement climatique.

Les projets de territoires pour la gestion de l'eau

La résorption des déséquilibres quantitatifs en vue d'une gestion durable et équilibrée de la ressource en eau est un des objectifs prioritaires des SDAGE Rhône Méditerranée, Corse, Adour-Garonne, Loire-Bretagne et Seine Normandie. Des dispositions spécifiques sont ainsi rédigées afin de préciser les moyens d'y arriver.

Sur les zones en déséquilibre hydrique, l'Etat impose de réaliser, depuis 2008, un diagnostic de la demande en eau par rapport à la ressource disponible et aux besoins des milieux aquatiques. Ce diagnostic est suivi par la mise en place d'un programme de résorption du déséquilibre, prenant en compte les scénarios de changement climatique et concerté avec l'ensemble des acteurs du territoire. Ces programmes de mesures sont appelés les projets de territoires pour la gestion de l'eau (PTGE). Actuellement, plus d'une centaine de PTGE sont soit finalisés, en cours ou en émergence. Ils sont répartis un peu partout en France mais principalement sur la partie au Sud de la Loire où les situations de tension sur la ressource en eau deviennent les plus prégnantes et où le partage de l'eau concerté entre tous les acteurs devient indispensable. Ces travaux sont donc tout à fait cohérents avec les préconisations du guide n°34.

A titre d'exemple, l'étude prospective sur la ressource, intégrant les effets du changement climatique et réalisée en 2021 sur tout le bassin Artois-Picardie a permis d'y identifier 10 territoires de SAGE en tension à court ou moyen terme, pour lesquels le SDAGE 2022-2027 demande d'initier une démarche de partage de la ressource de type projet de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE). Les autres SAGE sont incités à initier également cette démarche.

Mise en visibilité dans les documents du SDAGE

Afin de faciliter le repérage des dispositions du SDAGE ou mesures du PDM ayant un impact positif par rapport au changement climatique, certains SDAGE signalent ces dispositions ou mesures par un pictogramme ou à l'aide d'un tableau. Ci-dessous quelques exemples de pictogrammes utilisés pour signaler les orientations fondamentales et dispositions impactantes en matière d'adaptation au changement climatique :

- Dans le SDAGE Rhin-Meuse :



Ce pictogramme permet d'identifier les orientations ou dispositions* positivement les plus impactantes en termes d'atténuation* ou d'adaptation* au changement climatique*.

- Dans le SDAGE Artois Picardie :

Les orientations et les dispositions qui permettent de s'adapter et d'atténuer les impacts du **changement climatique** sont visées dans le SDAGE par la **mention** ☀️.

- Dans le SDAGE Seine-Normandie :



Le pictogramme marque les dispositions soutenant directement des actions favorables simultanément sur les 4 critères suivants : amélioration de la gestion de l'eau, adaptation au changement climatique, biodiversité, santé y compris environnementale (bien-être,...). Par exemple, les dispositions visant la restauration des zones humides contribuent à l'épuration de l'eau, accroissent la résilience du territoire par rapport au changement climatique en ralentissant le cycle hydrologique, soutiennent des réservoirs de biodiversité et concourent à la santé en épurant l'eau mais également en contribuant au bien-être des populations sur le plan paysager, notamment.

- Dans le SDAGE de la Guadeloupe :

L'adaptation au changement climatique est prise en compte depuis le second cycle de gestion. Les dispositions rentrant dans le cadre de l'adaptation au changement climatique sont signalées par le pictogramme ☀️ placé en dessous du titre de chaque disposition concernée.

- Dans le SDAGE de la Martinique :

Des pictogrammes sont placés en dessous du titre de chaque disposition concernée par :



: Prise en compte du changement climatique

- Dans le SDAGE Rhône Méditerranée, un tableau met en relation les orientations fondamentales et les questions importantes :

Orientations fondamentales		OF 0	OF 1	OF 2	OF 3	OF 4	OF 5	OF 6	OF 7	OF 8
		Adaptation au changement climatique	Prévention	Non dégradation	Enjeux sociaux et économiques	Gouvernance locale et gestion intégrée des enjeux	Lutte contre les pollutions	Fonctionnement des milieux aquatiques et des zones humides	Equilibre quantitatif	Gestion des inondations
Questions importantes (QI)										
QI 1	Eau et changement climatique									

REFERENCES

- Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., Mentaschi, L., ... & de Roo, A. (2020). Climate change and Europe's water resources, EUR 29951 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. *doi*, 10, 15553.
- Boé, J., Terray, L., Habets, F., & Martin, E. (2006). A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D23).
- Boé, J. (2007). *Changement global et cycle hydrologique: Une étude de régionalisation sur la France* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- CIS-WFD (2008): Summary of information received from Member States on best practices and approaches for a climate check of the first Programmes of Measures, BMU, Berlin, Germany and DG Environment Brussels Belgium;
- Crespi A., Terzi S., Cocuccioni S., Zebisch M., Berckmans J., Füssel H-M (2020) "Climate-related hazard indices for Europe". European Topic Centre on Climate Change impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA) Technical Paper 2020/1. DOI: 10.25424/cmcc/climate_related_hazard_indices_europe_2020
- Dayon, G. (2015). *Evolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaines décennies* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- Déqué, M., Rowell, D. P., Lüthi, D., Giorgi, F., Christensen, J. H., Rockel, B., ... & van den Hurk, B. J. J. M. (2007). An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Climatic Change*, 81(1), 53-70.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001
- IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Sauquet, E. (2015). R²D² 2050 Risque, ressource en eau et gestion durable de la Durance en 2050.
- Sauquet, E., Chatel, T., & Martin, E. (2019). *Vers l'élaboration de nouvelles projections hydro-climatiques pour les stratégies d'adaptation au niveau des bassins versants français* (Technical report, Inrae; Irstea). hal-02930768
- Wilby, R. L. (2005). Uncertainty in water resource model parameters used for climate change impact assessment. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(16), 3201-3219.

ANNEXE 1

La prise en compte du changement climatique au niveau français et européen

	Position commune des directeurs de l'eau	
2008 Union Européenne	A retenir	Le niveau de connaissance sur la tendance générale des changements à venir ou déjà en cours est suffisant pour justifier la prise de décision en conséquence et la nécessité d'agir. Il convient en particulier d'intégrer toutes les mesures sans regret et les mesures « gagnant-gagnant » identifiées.
	Adoption du livre blanc européen sur l'adaptation au changement climatique	
2009 Union Européenne	A retenir	Le livre blanc se focalise sur la manière dont le changement climatique devrait être intégré dans les 2 ^{ème} et 3 ^{ème} cycles de la DCE
	Adoption du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC)	
2011 France	A retenir	Un objectif d'économiser 20% de l'eau prélevée – hors stockage d'eau d'hiver – entre la période 2005-2010 et la période 2015-2020
	A retenir	Un engagement à intégrer les enjeux du changement climatique dans la planification et la gestion de l'eau, en particulier dans les prochains SDAGE 2016-2021
	Rapport de la Commission européenne sur les plans de gestion	
2012 Union Européenne	A retenir	Aujourd'hui dans les SDAGE, le changement climatique n'est inclus que de façon limitée, et se rapporte essentiellement au contexte de la gestion des inondations, de la disponibilité de l'eau et des situations de rareté de la ressource en eau. Aucune tentative visant à vérifier si les PdM étaient adaptés au changement climatique n'a été effectuée.

<p>2018 France</p>	<p>Plan national d'adaptation au changement climatique</p>	
	<p>A retenir</p>	<p>Mettre en œuvre les actions nécessaires pour adapter les territoires aux changements climatiques régionaux attendus d'ici 2050.</p> <p><u>Domaine de l'eau :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • encourager la sobriété et l'efficacité des usages, • mettre en place des solutions adaptées aux territoires, • améliorer la qualité de l'eau et préserver les écosystèmes naturels
<p>2021 Union Européenne</p>	<p>Adoption de la stratégie européenne d'adaptation au changement climatique</p>	
	<p>A retenir</p>	<p>Volonté d'améliorer la capacité d'adaptation des états membres, renforcer leur résilience et réduire leur vulnérabilité au changement climatique.</p> <p><u>Objectifs :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • améliorer les connaissances et les données, • aider à élaborer des politiques et gérer les risques climatiques • accélérer les mesures d'adaptation. <p><u>Dans le domaine de l'eau :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • assurer un accès durable à l'eau douce, • réduire la consommation d'eau • assurer la qualité de l'eau.

ANNEXE 2

Mise à disposition de projections climatiques sur le portail DRIAS les futurs du climat

Drias^{les futurs du climat} est une plate-forme qui a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM). Les informations climatiques sont délivrées sous différentes formes graphiques ou numériques.

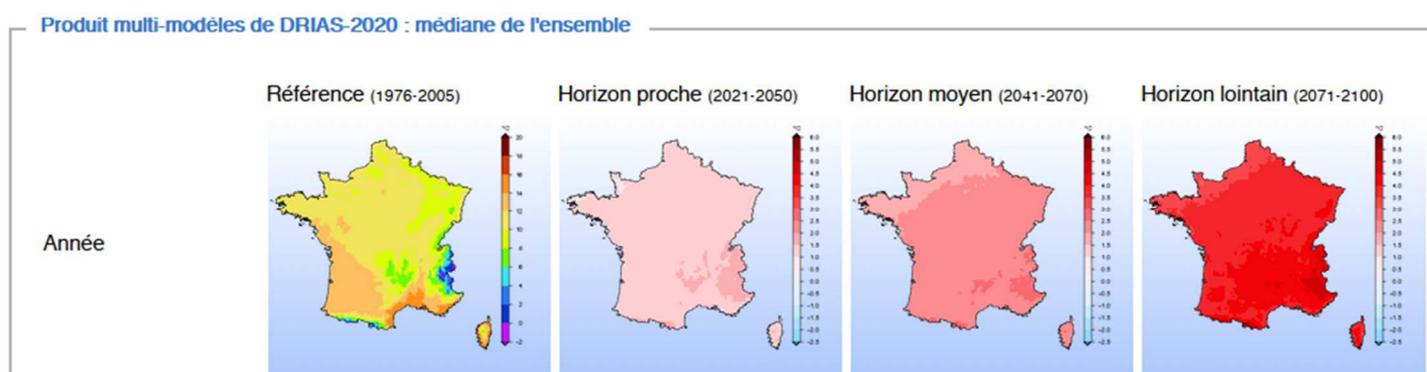
Le service Drias^{les futurs du climat} est issu du projet Drias (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement), co-financé par le programme Gestion et Impact du Changement Climatique (GICC) du Ministère en charge de l'écologie. Ce portail est un des éléments de la stratégie d'adaptation nationale. Sa création est une mesure du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (2011), et a été voulue par le ministère en charge de l'écologie, les laboratoires de modélisation climatique français et Météo-France. L'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) a été étroitement associé à sa mise en place. Sa construction repose sur les résultats et productions scientifiques françaises sur le climat.

Le service Drias^{les futurs du climat} permet donc de faciliter et simplifier l'accès et l'utilisation d'informations relatives aux projections climatiques régionalisées françaises ; il offre et facilite également le lien entre utilisateurs et chercheurs ; enfin, il contribue à valoriser le travail de recherche et harmoniser davantage les productions des groupes français de modélisation, désormais accessibles en un lieu unique.

Drias^{les futurs du climat} propose une démarche d'appropriation en trois étapes :

l'[Espace Accompagnement](#) présente un guide d'utilisation et de bonnes pratiques pour les projections climatiques.

L'[Espace Découverte](#) permet de visualiser et **géolocaliser** les projections climatiques en **métropole** comme **outre-mer**. Des cartes interactives représentant des indices climatiques, associées à différentes couches d'informations géographiques (limites administratives, bassins versants, relief...), et permettant une capacité d'analyse immédiate.



Enfin, l'[Espace Données et Produits](#) permet de télécharger des paramètres et indicateurs climatiques sous forme de données numériques. Ces [données numériques](#), principalement destinées aux utilisateurs avertis, sont toutes corrigées par rapport à l'observation. Les données non corrigées ne sont pas directement accessibles sur le portail Drias^{les futurs du climat} et nécessitent une demande spécifique

ANNEXE 3

Liste des principales études régionales sur la thématique de l'eau et du changement climatique

Nom de l'étude	Territoire concerné	Année	Documents de référence
Adour 2050			
Sinergi 2050	Nappe de la Crau	2018-2020	SYMCRAU
R ² D ² 2050 (Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance)	Bassin versant de la Durance et du Verdon	2011-2013	Sauquet, E. (2015).
Ardèche 2050	Bassin versant de l'Ardèche	En cours	EPTB Ardèche
HYCCARE (2080-2100) : projections climatiques et hydrologiques	Région Bourgogne	2016	Région Bourgogne
CHIMERE21 (CHlers – Meuse : Evolution du RégimE hydrologique au 21e siècle)	Evaluation des impacts futurs des changements climatiques sur les débits de la partie française de la Meuse	2017-2021	Guillaume Thirel, Lila Collet, Fabienne Rousset, Olivier Delaigue, Didier François, et al. (2021)
MOSARH21	Evolutions des débits futurs sur le bassin du Rhin en contexte de changement climatique. Une évaluation actualisée avec les simulations climatiques du 5e rapport du GIEC	2018	Thirel, G. (2018)
Stratégie départementale d'ACC	Département de la Côte d'Or	2018	Département de la Côte d'Or
SAVOIE 2040	Département de la Savoie	2015	Département de la Savoie
PIRAGUA	Projet Interreg sur les Pyrénées	2018-2022	http://www.the-ses.fr/s214276
Littoral Languedoc-Roussillon 2010-2050	Région Languedoc-Roussillon	2012	Région Languedoc-Roussillon
Le SOURCE Schéma d'Orientation pour une Utilisation Raisonnée et Solidaire de la ressource en Eau (2030)	Région PACA	2009	Région PACA
Eau Grand Est 2030-2050	Région Grand Est	En cours	Région Grand Est
Aqua 2020	Région Languedoc-Roussillon	2005	Région Languedoc-Roussillon

H ₂ O 2030	Région Occitanie	2018	Région Occitanie
« Eau et climat 3.0 » (2050)	Département du Gard	2020	Département du Gard
Garonne 2050			
Etat des lieux du bassin Loire-Bretagne	Loire-Bretagne (évaluation de certaines pressions à horizon 2070, à usage constant)	2019	Comité de bassin Loire-Bretagne
Fiches d'aide à la lecture du Sdage LOIRE-BRETAGNE : Gestion quantitative de la ressource en eau ¹	Loire-Bretagne (comprend une partie 6.1 dédiées aux analyses, hydrologie, milieux, usages, climats)	2017	Secrétariat technique de bassin Loire-Bretagne
Bilan des connaissances des impacts du changement climatique sur 10 sages	Allier aval, Cher amont, Cher aval, Haut-Allier, Loir, Loire amont, Loire en Rhône-Alpes, Loiret, Sioule, Yèvre-Auron	2017 - 2018	Etablissement public Loire
Étude sur le risque sécheresse	Bassin Seine-Normandie	2018	Boé, J (2018) http://www.eau-seine-normandie.fr/sites/public_file/inline-files/Scenarios_secheresse_SN_Cerfacs_2018_synthese.pdf
Evaporation des lacs réservoirs EPTB Seine Grands Lacs (notamment le complément : étude de sensibilité)	Bassin de la Seine en amont de Paris	2018 - 2019	https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/initiatives/evaluation-levaporation-des-lacs-reservoirs-dans-les-conditions-actuelles-et-sous
Mission sur le fonctionnement hydrologique de la Seine, Rapport au Premier ministre	Bassin Seine Normandie	2016	http://www.eau-seine-normandie.fr/sites/public_file/inline-files/Rapport_PM_hydrologie

¹ Suite à l'introduction des analyses HMUC dans le Sdage Loire-Bretagne 2016-2021, puis à l'institution des PTGE, de nombreuses études sont lancées dans le bassin. Elles sont actuellement en cours.

				_Seine_2016_VF.pdf
Pratiques et systèmes agricoles résilients en condition de sécheresse, quels leviers agroécologiques pour les agriculteurs du bassin Seine-Normandie	Bassin Normandie	Seine	2019	http://www.eau-seine-normandie.fr/sites/public_file/inline-files/Rapport-final-Pratiques-et-systemes-agricoles-resilients-en-conditions-de-secheresse.pdf
Adaptation des exploitations agricoles au changement climatique	Bassin Normandie	Seine	2020	http://www.eau-seine-normandie.fr/sites/public_file/inline-files/Rapport_Life_Agriadapt_AESN.pdf
Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine	Bassin Normandie	Seine	2011	https://www.piren-seine.fr/sites/default/files/piren_documents/fascicules/Collection_AESN_PIREN-Seine_13_-_Impact_du_changement_climatique.pdf
SEINARIOS - Perspectives de biodiversité dans le bassin de la Seine face aux changements globaux sous contraintes de connectivités	Bassin Normandie	Seine	En cours	Thèse
Évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte	France		2019	Cerema, https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/connaissance-du-trait-cote
Résultats des nouvelles projections climatiques sur le bassin de la Seine et évaluation de leur capacité à simuler la variabilité basse fréquence			2020	https://www.piren-seine.fr/sites/default/files/piren_documents/phase_8/Rapports_annuels/2

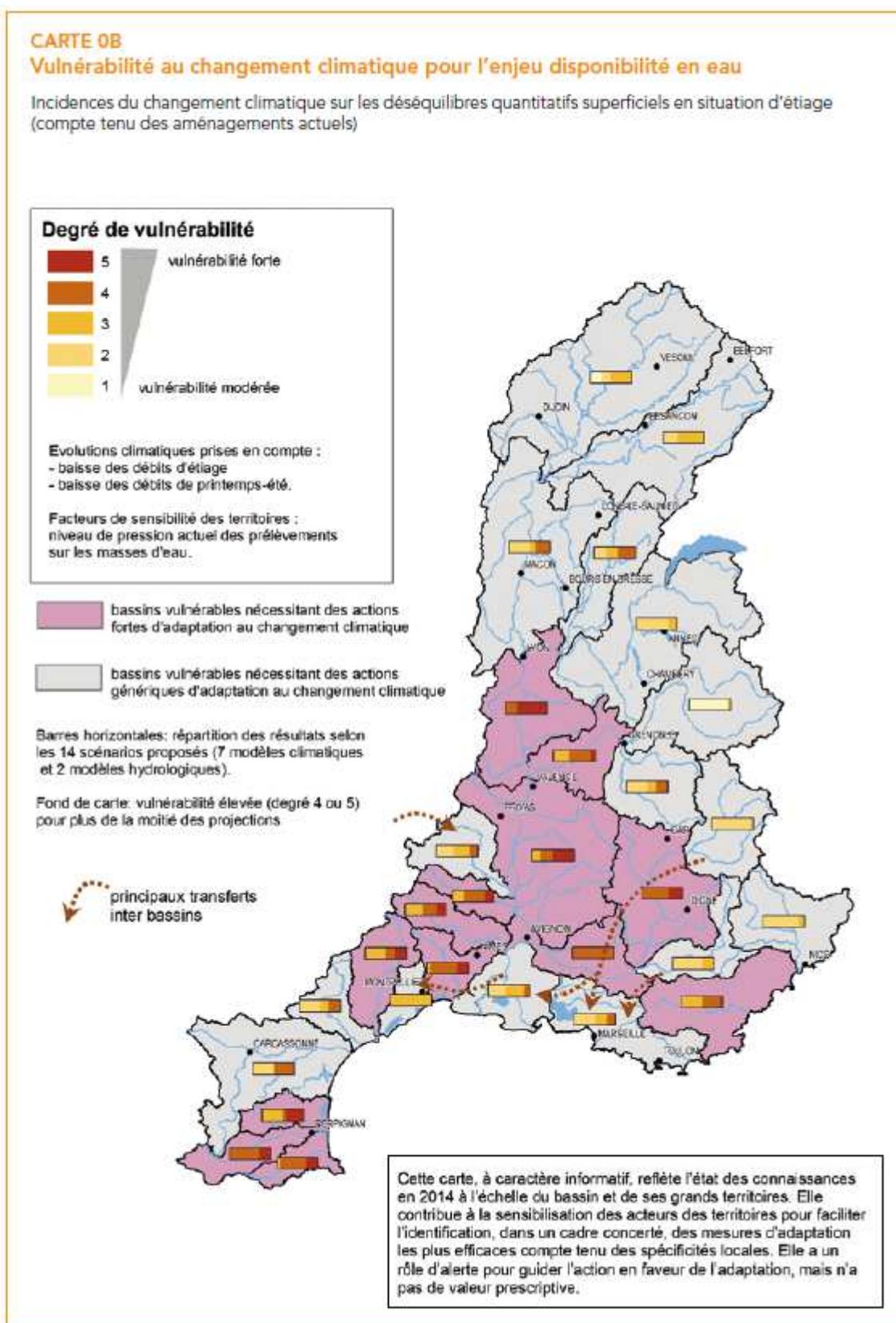
			020/a1b2_Boe_PIREN_2020_VF.pdf
Projections des températures de l'eau de la Seine à Paris à l'horizon 2100		2021	https://www.piren-seine.fr/rapports/rapports_annuels/rapports_dactivite_2021/projections_des_temperatures_de_leau_de_la_seine
L'eau, la ville et le territoire : deux scénarios prospectifs à 2050 pour le bassin de la Seine		2018	https://www.piren-seine.fr/rapports/autres_rapports_et_etudes/leau_la_ville_et_le_territoire_deux_scenarios_prospectifs_a_2050
Quel avenir pour un bassin et des territoires soumis aux changements globaux		2021	https://www.piren-seine.fr/rencontres/colloques/colloque_2021/session_1_quel_avenir_pour_un_bassin_et_des_territoires_soumis
Le métabolisme de l'agglomération parisienne		2021	https://www.piren-seine.fr/publications/fascicules/le_metabolisme_de_lagglomeration_parisienne
Champigny 2060	Nappe de Champigny	2020-2022	
Yerres 2054	Bassin de l'Yerres	2021	Note « Vision du SADE de l'Yerres en 2054 » validée par la Commission Locale de l'Eau le 07/07/2021
Etude sur les volumes prélevables en Audomarois	SAGE Audomarois	2019	
Etude de vulnérabilité des systèmes de production et de distribution d'eau potable	Bassin de la Somme	2020 - 2022	

Analyse de vulnérabilité et gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois-Picardie	Bassin Artois-Picardie	2020 - 2022	
---	------------------------	-------------	--

ANNEXE 4

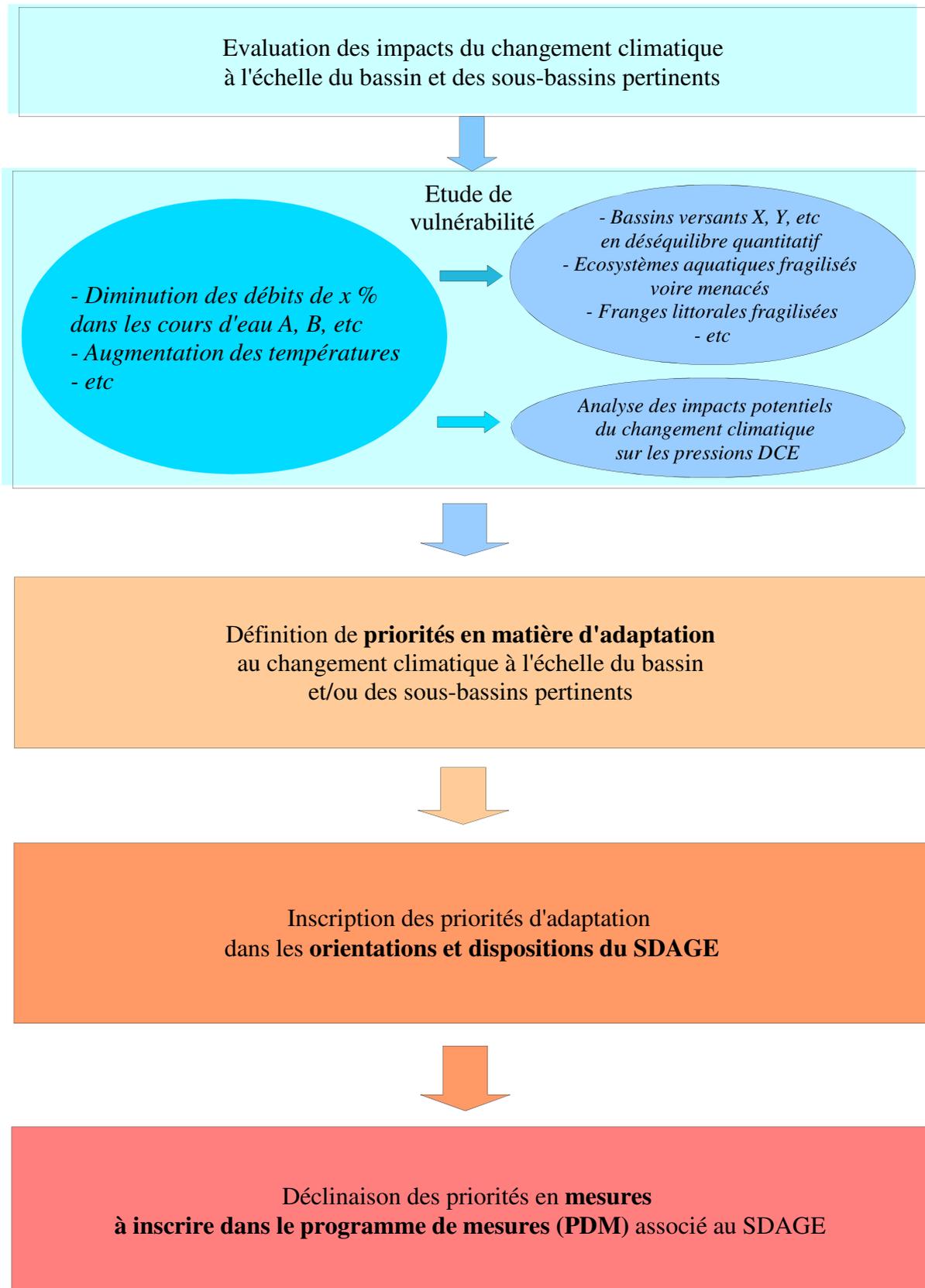
Exemple de carte de vulnérabilité sur le bassin Rhône-Méditerranée

Le bassin Rhône Méditerranée a établi des cartes de vulnérabilités sur 6 thématiques, la disponibilité en eau, le bilan hydrique des sols, la vulnérabilité pour la biodiversité, le niveau trophique des eaux et l'enneigement.



ANNEXE 5

Synthèse méthodologique de l'intégration du changement climatique dans les SDAGE et PDM



ANNEXE 6

Les sept étapes d'une étude d'impact au changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau – Exemple de l'étude Explore 2070

– Étape 1 : la sélection de scénarios de forçage radiatif (RCP)

Différents scénarios de forçage radiatif ont été définis par le GIEC. La première étape d'une évaluation des impacts du changement climatique consiste à choisir un ou plusieurs scénarios qui vont servir de données d'entrée pour la modélisation climatique.

Pour répondre aux questions posées par le changement climatique et ses impacts, le GIEC fait correspondre des scénarios de forçage radiatif avec différents scénarios socio-économiques. Ils composent, non pas des prévisions, irréalisables à l'échelle de plusieurs décennies, mais des scénarios d'évolution de forçage radiatif, supposés couvrir un large éventail d'évolutions de société possibles. Ces différents scénarios sont à l'origine d'une première source d'incertitude.

Illustration avec Explore 2070

Le scénario d'émission de GES A1B a été sélectionné pour des raisons de disponibilité de données. Au moment du démarrage du projet Explore 2070, il s'agissait en effet du seul scénario pour lequel un grand nombre de modèles désagrégés étaient disponibles sur la France avec une finesse de résolution (8x8 km) adaptée aux ambitions du projet.

Le scénario A1B est un scénario médian. Cependant, l'utilisation d'un unique scénario ne permet pas de rendre compte, dans les résultats, des incertitudes liées aux hypothèses d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre. Ces incertitudes peuvent être très fortes du fait de différences notables entre concentrations de GES possibles dans le futur (voir figure suivante) et ces différences seront d'autant plus fortes que l'horizon considéré est lointain. Les résultats hydrologiques finaux peuvent être fortement influencés par ce choix de scénario, sans que l'on ait pu le mesurer dans ce projet.

– Etape 2 : la sélection des projections climatiques issues de modèles globaux

Les simulations climatiques sont produites par des modèles de circulation générale (MCG), récemment améliorés par l'inclusion des cycles biogéochimiques et maintenant dénommés modèles de système Terre (ESM). Il s'agit de modèles couplés océan-atmosphère qui modélisent notamment les écoulements atmosphériques et océaniques, régissant le système climatique. Ils fonctionnent à l'échelle planétaire.

En entrée de ces modèles, on fait varier le forçage radiatif dépendant notamment des concentrations de gaz à effet serre (GES) et aérosols selon le scénario choisi. On obtient en sortie des simulations climatiques qui renseignent plusieurs variables telles que l'évolution des températures, des précipitations, de l'évapotranspiration, de l'humidité des sols ou encore du manteau neigeux. Ces résultats sont fournis sur des mailles régulières, à une résolution spatiale de l'ordre de plusieurs dizaines à centaines de kilomètre de côté.

Il est important de noter que les situations météorologiques simulées n'ont pas pour objectif, pour une date donnée, de reproduire la situation correspondante réellement observée (ou qui sera observée). Cependant les chroniques simulées doivent restituer les principales statistiques du climat observé.

Plus d'une vingtaine de modèles climatiques sont répertoriés dans le dernier rapport du GIEC. Ces modèles sont à des stades de développement variables et montrent des capacités différentes à simuler différents aspects du climat. L'imperfection des modèles est inévitable car le système Terre est tellement complexe qu'il est nécessaire d'en simplifier certains aspects pour pouvoir le simuler et les équipes de scientifiques n'ont pas nécessairement choisi de mettre des simplifications sur les mêmes processus physiques. Ces différences sont à l'origine d'une deuxième source d'incertitude qui vient s'ajouter à celle des scénarios de gaz à effet de serre.

Ces modèles climatiques ne permettent pas d'apprécier les impacts à une échelle suffisamment fine pour les gestionnaires de l'eau. Les simulations globales sont alors régionalisées à l'aide de méthode de descente d'échelle.

¹ Le climat est défini par l'Organisation Mondiale de la Météorologie comme « la description statistique, en termes de moyenne et de variabilité, des quantités pertinentes (précipitations, températures...) sur une période de temps d'au moins trente ans.

Illustration avec Explore 2070

Dans le projet Explore 2070, les résultats de sept modèles de circulation générale ont été utilisés. Ces sept modèles ont été choisis, parmi les 23 modèles utilisés par le GIEC, par le Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS) pour leur représentativité de la variabilité climatique.

Cette approche multi-modèles permet, par la comparaison des sept résultats, une prise en compte de l'incertitude liée aux modèles climatiques. A l'horizon 2050, il vaut mieux choisir un nombre de modèles climatiques plus important que de forçage radiatif car à moyen termes, les incertitudes sont davantage portées par les modèles climatiques.

- Etape 3 : la descente d'échelle

Les 7 MCG fournissent des simulations à une résolution de plusieurs centaines de kilomètres de côté. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des méthodes de descente d'échelle qui visent à désagréger ces données à une échelle adaptée aux études hydrologiques puis à la prise de décision.

Deux approches complémentaires existent :

- ▶ l'approche statistique qui repose sur la recherche d'une relation statistique entre les variables locales et les prédicteurs modèles ;
- ▶ l'approche dynamique qui consiste à résoudre explicitement la physique et la dynamique du système climatique régional. On utilise alors des modèles de climat régionaux avec comme conditions aux limites les résultats des modélisations conduites à l'échelle du globe.

Illustration avec Explore 2070:

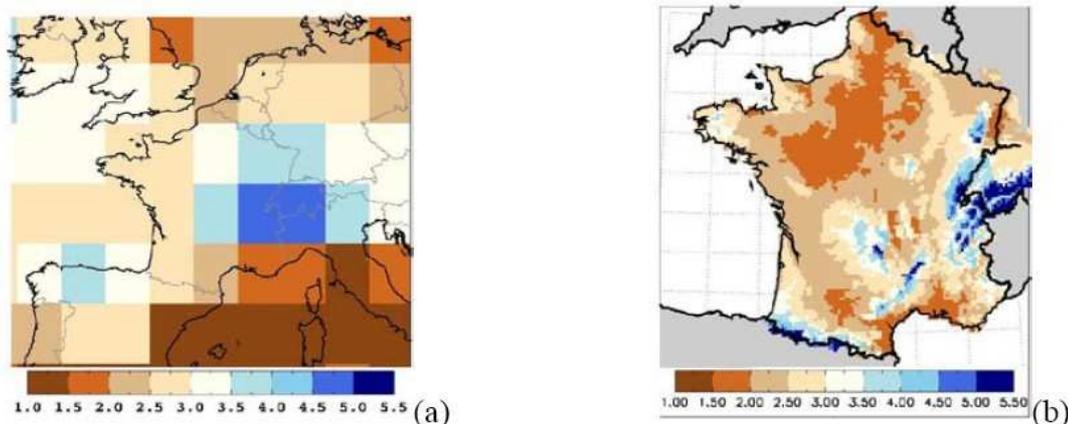
Dans le cadre d'Explore 2070, les résultats d'une seule méthode de descente d'échelle ont été utilisés. Ces résultats ont été établis en amont d'Explore 2070 par la méthodologie DSCLIM développée au CERFACS (Boé et al. 2006 ; Boé 2007). Ce choix d'utilisation d'une seule méthode de descente d'échelle a été contraint par des questions de disponibilité des données à une résolution spatiale adaptée au projet. Il faut noter que la méthode de descente d'échelle peut induire des incertitudes importantes, qui n'ont pas pu être quantifiées en raison du choix d'une seule méthode. En particulier, les incertitudes liées à la descente d'échelle peuvent être importantes sur les pluies (Déqué et al. 2007) et ainsi avoir des impacts forts sur les débits.

A l'issue de ce travail de descente d'échelle, ont été obtenues sur la Métropole :

- ▶ **des données simulées de précipitations liquides et solides, températures et ETP,**
- ▶ **au pas de temps journalier,**
- ▶ **au pas d'espace de 8 km x 8 km (il s'agit de la grille Isba),**
- ▶ **pour la période de référence 1961-1990 et pour la période future 2046-2065,**
- ▶ **ceci pour chacun des 7 modèles climatiques.**

A partir de ce maillage de 8km x 8km, des séries climatiques ont été calculées à l'échelle des bassins versants étudiés.

Figure : Exemple de données de précipitations (mm/jour) couvrant la France. La figure (a) montre les données à la résolution typique d'un modèle global du climat, tandis que la figure (b) montre les données désagrégées statistiquement à une résolution de 8 km. (Source : Pagé et al., 2008)



- Etape 4.1 : la sélection de modèles hydrologiques

La modélisation hydrologique est une étape clé de toute étude d'impact des changements climatiques sur les hydrosystèmes. Elle permet en effet de faire le passage entre les entrées climatiques (typiquement pluie et température) et le débit à l'exutoire des bassins considérés, en simulant la transformation pluie-débit. Certains modèles hydrologiques peuvent également simuler d'autres variables (qualité de l'eau, température, humidité, niveau de nappes, etc.).

Les modèles hydrologiques existants sont tous, à des degrés divers, des simplifications des bassins réels. Il y a aujourd'hui un très grand nombre de modèles existants, qui diffèrent par le niveau de simplification réalisé par le modèle et par la quantité d'information nécessaire pour utiliser le modèle (que ce soit en termes de données d'entrée ou de données nécessaires pour la paramétrisation du modèle). On peut différencier les modèles par exemple en fonction :

- du niveau de description des processus (modèles à bases physiques, modèles conceptuels, modèles empiriques)
- du niveau de discrétisation spatiale (modèles globaux, semi-distribués ou distribués)
- du pas de temps de fonctionnement (allant typiquement de l'heure à l'année)

Ces différences peuvent générer des différences significatives dans les sorties des modèles, que ce soit en conditions actuelles ou en conditions futures. **Aujourd'hui, il n'existe pas de modèle de référence donnant les meilleures performances sur tous les bassins. Il apparaît donc intéressant, dans le cadre d'études d'impacts, d'adopter une approche multi-modèles permettant de quantifier les écarts de résultats liés à la modélisation hydrologique.**

Illustration avec Explore 2070 :

Dans l'objectif de prendre en compte l'incertitude liée aux modélisations hydrologiques, une approche multi-modèles a été adoptée. Deux modèles hydrologiques ont été mobilisés : le modèle GR4J d'INRAE et le modèle Safran-Isba-Modcou (SIM) de Météo-France, qui correspondent à des approches de modélisation très différentes.

Le modèle GR4J est un modèle global, apparenté aux modèles conceptuels. L'approche est qualifiée de descendante : on cherche à avoir une description systémique du fonctionnement du bassin versant. Il est construit pour reproduire le comportement hydrologique global d'un bassin versant : il fait le lien entre la lame d'eau précipitée et l'évapotranspiration potentielle sur le bassin, et son débit à l'exutoire.

Le modèle Safran-Isba-Modcou est un modèle distribué (il fonctionne avec un découpage de l'espace en mailles élémentaires de 8 km x 8 km) à bases physiques. L'approche est qualifiée d'ascendante : on cherche à modéliser des composants "élémentaires" du système et ensuite à les assembler.

Choix des points de calcul

Les résultats des simulations pour Isba-Modcou étaient déjà disponibles en amont du projet et ont été mis à disposition par Météo-France dans le cadre du projet au droit de **907 points correspondant à des stations hydrologiques et de 256 points correspondant à des exutoires maritimes de bassins versants**. Les résultats sont au pas de temps journalier (débit moyen journalier en m³/s) et correspondent aux simulations réalisées avec chacun des 7 modèles climatiques cités précédemment pour la métropole (scénario de concentration en GES A1B).

Il s'agissait donc de faire un choix pour les calculs réalisés avec GR4J :

- choix de stations parmi celles déjà traitées avec Isba-Modcou afin d'avoir le plus possible de stations communes aux deux modèles (pour cerner l'incertitude liée à la modélisation hydrologique) ;
- choix d'autres stations visant à compléter l'échantillon pour le rendre le plus représentatif possible de la variabilité des conditions et des enjeux à l'échelle nationale, en garantissant une couverture relativement homogène du territoire.

Ce choix a principalement impliqué les aspects suivants : la disponibilité, la qualité des données hydrométriques et enfin les enjeux associés à certaines problématiques pour le projet (évolution de la ressource et des risques).

Par rapport aux enjeux soulignés dans le cadre de l'intégration, les stations suivantes ont été privilégiées :

- **stations correspondant aux points nodaux définis dans les SDAGE**
- **points considérés comme de bonne qualité pour le suivi des étiages dans les travaux récents d'INRAE pour l'OFB (ex ONEMA)**
- **points appartenant au réseau national de vigilance sur les crues VIGICRUES**
- **points situés sur des cours d'eau traversant l'une des 15 grandes métropoles françaises**

Pour l'aspect « qualité des données », des filtres ont été mis en œuvre pour éliminer les stations ne comportant pas assez de mesures renseignées comme étant de bonne qualité, ou trop influencées par des ouvrages hydrauliques.

Pour l'aspect « disponibilité des données », le critère était de disposer d'au moins dix années de données pour le calcul des descripteurs hydrologiques. Cependant, des points de calcul pour lesquels seulement six années de débit étaient disponibles sur la période de référence ont tout de même été retenus. Cette durée peut-être considérée comme une durée minimale pour évaluer et caler les modèles hydrologiques de type GR4J. Sur ces stations, il y a donc un modèle calé pour réaliser des simulations et ainsi calculer des variables hydrologiques, mais pas de références sur les débits observés.

Un taux de lacune mensuel maximum égal à 50% et un taux de mesures valides (suivant les codes qualité de la banque HYDRO) supérieur ou égal à 80% ont été imposés, de manière à s'assurer de l'homogénéité temporelle des données.

Pour les simulations par GR4J, 902 points de calcul ont été sélectionnés parmi les stations hydrométriques de la Banque HYDRO.

Pour la métropole, les calculs ont donc été établis au droit de 1522 points (voir figure ci-dessous) :

- 543 points GR4J+Isba-Modcou ;
- 359 points GR4J seul ;
- 620 points Isba-Modcou seul.



Figure : Localisation des 1522 points de calcul retenus pour Explore 2070 en Métropole

En chaque point d'étude, pour chaque combinaison modèle hydrologique/modèle climatique, les simulations des débits passés (1962-1990) (*) et futurs (2046-2065) ont été effectués, au pas de temps journalier. **Ont donc été générées, pour chaque point de calcul, 7 ou 14 chroniques de débits journaliers en temps passé et 7 ou 14 chroniques de débits journaliers en temps futur.**

Afin de présenter parallèlement les évolutions hydrologiques calculées et une évaluation de l'incertitude associée, et cela à différentes échelles de lecture, plusieurs rendus sont désormais disponibles :

- ▶ **Des fiches de synthèse par bassin versant.** Pour chaque point d'étude, une fiche synthétise les évolutions de tous les indicateurs. Pour chaque indicateur, sont présentées :
 - la valeur issue des observations, lorsque l'on possède au moins 10 ans de données (critère minimum pour réaliser un calcul statistique pertinent),
 - les valeurs médiane, minimale et maximale du Δ pour chaque modèle hydrologique respectivement.
- ▶ **Un ensemble de graphes** rend compte de l'évolution globale et des incertitudes associées à l'échelle nationale, après partition des points par type de régimes hydrologiques et à l'échelle de quelques bassins en particulier.

- **Etape 4.2 : la sélection de modèles hydrogéologiques**

Les premières études d'impact du changement climatique sur les eaux souterraines se sont principalement concentrées sur l'estimation des impacts sur la recharge. Pour avoir une idée plus précise des impacts du changement climatique sur les ressources en eau souterraine, il s'avère pertinent de faire appel à des modèles hydrogéologiques qui décrivent plus précisément les caractéristiques des aquifères (épaisseurs, transmissivité, etc.) afin de simuler correctement les écoulements souterrains.

Illustration avec Explore 2070 :

Afin de quantifier l'impact du changement climatique sur les ressources « quantitatives » en eau souterraine, le groupement BRGM/ ARMINES a proposé, dans le cadre de sa contribution au projet Explore 2070 :

- d'utiliser les modèles hydrodynamiques maillés, déjà calés sur la période actuelle
- de compléter ces évaluations par quelques modélisations globales pluie-débit-niveau piézométrique déjà réalisées avec des logiciels tels que GARDENIA ou TEMPO du BRGM
- d'étendre les résultats obtenus à l'aide de ces modèles à l'ensemble du territoire.

Les modèles hydrodynamiques qui ont été utilisés dans le cadre d'Explore 2070 ont permis de couvrir une grande partie du territoire métropolitain et une partie de la Guadeloupe.

Les systèmes aquifères modélisés, les objectifs de modélisation et les logiciels utilisés étant différents, les modèles ont des données d'entrée, des pas de temps de modélisation, des maillages et mêmes des données et rendus de sortie très différents.

Les principaux résultats obtenus à partir des modèles climatiques ont été utilisés simultanément avec les résultats sur l'hydrologie de surface afin de préciser et/ou évaluer les impacts sur les eaux souterraines au droit des bassins versants « Explore » non modélisés. L'indice de persistance des réseaux (IDPR) permet de fournir une estimation de la répartition ruissellement – percolation et donc de définir, à partir de la pluie efficace, la recharge des aquifères.

- **Etape 5.1 : la quantification des évolutions de la demande en eau par secteur à partir des projections démographiques et socio-économiques à climat constant**

La quantification de la demande en eau est le complément de la quantification des ressources superficielles et souterraines en eau. Cette quantification doit être menée à minima par grands secteurs d'activité, à savoir :

- l'Alimentation en eau potable (AEP) ;
- l'Industrie ;
- l'Énergie (eau de refroidissement des centrales nucléaires et thermiques) ;
- l'Agriculture.

A cela, il convient de rajouter, lorsque le cas se présente, les transferts d'eau inter-bassins.

Illustration avec Explore 2070

Deux scénarios à stabilité climatique ont été définis comme points de départ pour l'estimation future des impacts sur l'eau du changement climatique et construits à l'horizon 2070.

Partant d'hypothèses de contexte mondial et de projections démographiques au niveau national, déclinées au niveau régional en tenant compte des évolutions du solde naturel au niveau régional et des migrations résidentielles inter-régionales, des projections de nombre de ménages, par type de ménage, ont été construites. Ces projections du nombre de ménages permettent de définir les besoins en logements et les besoins en eau, ainsi que les besoins de mobilité, les consommations énergétiques et les consommations d'autres biens et services. Toutes ces évolutions de la demande influencent l'activité économique des secteurs concernés.

Le système de prévision est donc organisé en plusieurs modules, interconnectés entre eux pour assurer une cohérence globale. Sept grands modules ont été définis, relatifs à : la démographie, l'agriculture, l'habitat/construction, les transports, l'énergie, les activités économiques par grands secteurs, les besoins en eau. De ces modules, ont été déduits dans un second temps les pressions anthropiques sur la ressource en eau.

Le premier scénario tendanciel est un scénario de **concentration relative de l'habitat** et le deuxième scénario suppose une **accélération du phénomène d'étalement de l'habitat** connu ces dernières années, avec une multiplication par deux de la superficie artificialisée en métropole. Concernant le cadrage socio-démographique des deux scénarios tendanciels à stabilité climatique, les deux scénarios s'appuient sur les prévisions de l'INSEE en termes de croissance démographique et de migrations internes, et les prolongent à horizon 2070.

– **Étape 5.2 : la quantification des évolutions de la demande en eau par secteur à partir des démographiques et socio-économiques à climat constant**

Il est difficile de calculer quelle serait l'impact spécifique du changement climatique sur la demande en eau de la plupart des secteurs d'activité (AEP, Industrie, Énergie, etc.). Toutefois, il est vraisemblable de la considérer comme négligeable (et donc de partir du résultat de l'étape 5.1) sauf pour un secteur : l'agriculture. En effet, l'augmentation attendue de l'évapotranspiration étant non compensée par une augmentation des précipitations, conduit irrésistiblement à une augmentation de la demande en eau d'irrigation, à assolement constant.

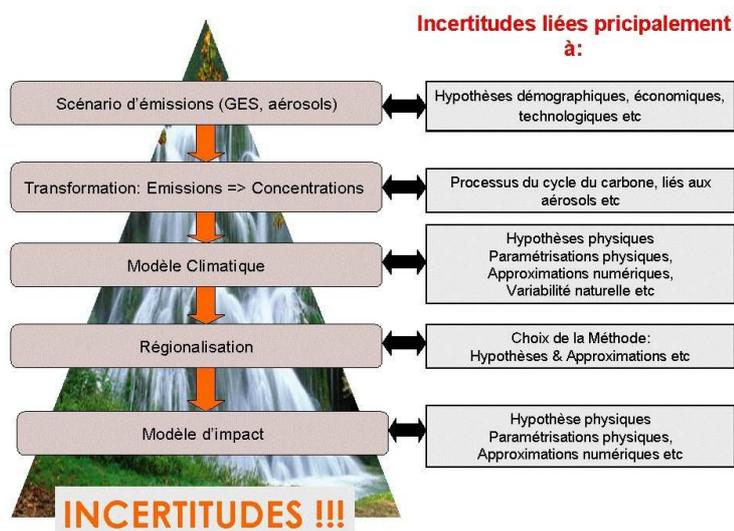
Illustration avec Explore 2070

Pour prendre en compte les effets du changement climatique sur l'agriculture, mais sans anticiper sur les mesures d'adaptation potentiels de ce secteur, la demande en eau du secteur agricole a été calculée en considérant les assolements de l'année 2000 (dernier RGA connu) et le climat futur projeté. Le résultat du calcul est une augmentation de la demande en eau agricole de +42 à +66% par rapport à l'année de référence de 2006, à l'échelle nationale.

– **Étape 6 : la question des incertitudes**

Les incertitudes sont fortes dans les études d'impact du changement climatique, en partie du fait que ce sont des études prospectives et que l'on s'intéresse à un avenir lointain, mais également en raison des nombreuses difficultés inhérentes à la chaîne de modélisation mise en place dans ces études. Boé (2007) donne l'image de la cascade d'incertitudes, indiquant qu'au fur et à mesure que l'on descend dans la chaîne de modélisation, les incertitudes totales vont croissant, chaque étape ajoutant de nouvelles sources d'incertitudes.

Figure : La cascade d'incertitude, d'après Boé (2007)



Il est indispensable de quantifier les incertitudes associées aux projections réalisées. Les différentes sources d'incertitudes correspondent aux différentes étapes de la modélisation. On trouvera notamment des incertitudes liées :

- ▶ au scénarios d'émission de GES, et leur traitement dans les modèles climatiques,
- ▶ au modèle de climat,
- ▶ à la variabilité naturelle du climat,

- ▶ au choix de la méthode de descente d'échelle et d'une méthode de correction de biais,
- ▶ au choix du modèle hydrologique, au calcul de ses entrées et à sa paramétrisation,
- ▶ l'impact local des activités humaines.
- ▶ l'évolution spontanée des écosystèmes (végétation en particulier) en réponse aux modifications environnementales.

Le GIEC (2005) a produit un document donnant des préconisations sur le traitement des incertitudes. Ce rapport distingue différents types d'incertitude, à savoir la non-prédictabilité liée notamment aux comportements humains, l'incertitude structurelle liée aux erreurs des modèles, leurs hypothèses et leurs approximations, et l'incertitude liée à la mesure (observation, représentativité spatiale, valeurs de paramètres). Pour chacune de ces sources d'incertitudes, le rapport préconise des modes de caractérisation, traitement et représentation.

Divers travaux ont été menés pour quantifier l'importance relative des diverses sources d'incertitudes. Il est par exemple difficile de savoir quelles sont les incertitudes qui prédominent lors de projections hydrologiques. Wilby et Harris (2006) considèrent que les incertitudes sont apportées de manière décroissante par : (1) les modèles climatiques, (2) la méthode de désagrégation, (3) la structure des modèles hydrologiques, (4) les paramètres des modèles hydrologiques et (5) le scénario d'émission. Cependant, leurs travaux n'ont été menés que sur un seul bassin (celui de la Tamise) en comparant deux modèles hydrologiques et Wilby (2005) note que selon le modèle hydrologique utilisé, les incertitudes liées à la modélisation peuvent être prédominantes.

La représentation des incertitudes peut prendre différentes formes, avec par exemple la représentation de faisceaux de courbes représentant toutes les simulations, d'intervalles de confiance sur les sorties ou la définition de niveaux de confiance associés.

- **Étape 7.1 : Évaluation de l'impact du changement climatique sur l'équilibre entre la disponibilité et la demande en eau à l'échelle des bassins versants**

L'évaluation de l'impact du changement climatique sur un territoire se fait directement par la confrontation offre/demande en eau à l'échelle des bassins versants. Il est important de souligner que cette confrontation doit tenir compte des besoins des écosystèmes aquatiques.

Illustration avec Explore 2070

Un module de simulation, reposant sur l'élaboration de bilans massiques à l'échelle des bassins versants (une centaine au total) interconnectés selon des relations amont-aval et l'existence de transferts d'eau entre bassins, a été développé.

Les bilans massiques confrontent la demande en eau des différents usages présents sur ce bassin à la ressource en eau disponible (eaux de surface, eaux souterraines ou ressources alternatives telles que la désalinisation d'eau de mer par exemple). Des seuils de débit spécifiques sont fixés en certains points nodaux afin d'appréhender les besoins des usages navigation et production d'énergie, ainsi que ceux des écosystèmes aquatiques (approche type « débits seuils écologiques »).

Pour déterminer les situations de non satisfaction, des priorités d'allocation entre usages de l'eau ont été établies en cohérence avec la législation actuelle. En complément des hypothèses et méthodes propres aux lots thématiques, la construction de la capacité de simulation du modèle intégrateur a conduit à simplifier certains processus et relations.

- **Etape 7.2 : Évaluation de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes aquatiques**

Il est aujourd'hui évident que le changement climatique, à travers une diminution des débits ou l'augmentation de la température, affectera la biodiversité aquatique. Les études réalisées ces vingt dernières années ont permis de mettre en exergue les effets actuels du changement climatique sur la biodiversité aquatique. Ces réponses sont généralement classées en trois groupes :

- **Effets sur la phénologie et la physiologie des organismes** : modifications phénologiques associées à un impact direct des CC (CO₂, température, débit etc ..) ou à un impact indirect (modification des rythmes synchroniques entre espèces)
- **Changements de distribution des espèces** : les espèces se distribuent dans les zones qui leur sont favorables d'un point de vue biotique et abiotique. Les pressions climatiques ou anthropiques peuvent amener les espèces à modifier leur distribution dans le cas où la capacité de dispersion des espèces et la disponibilité des ressources le permettent.
- **Changements dans la composition et la structure des communautés** : les communautés écologiques sont des assemblages d'espèces présentes simultanément dans l'espace et dans le temps. Les espèces répondant de manière individuelle aux CC, la structure des communautés au sein des mêmes réseaux trophiques ou entre réseau trophique pourrait être largement affectée.

Illustration avec Explore 2070

Le projet Explore 2070 a cherché à évaluer :

- **La vulnérabilité des zones humides et des services écosystémiques qu'elles rendent à la société face au changement climatique en France métropolitaine.** Cette étude a été complétée pour l'Outre-Mer par un travail portant sur les étangs du Gol et de St Paul situés sur l'île de la Réunion ;
- **La vulnérabilité des poissons d'eau douce au changement climatique en France métropolitaine.** Cette étude a été complétée pour l'Outre-Mer par une synthèse bibliographique de l'existant concernant l'impact du changement climatique sur les écosystèmes d'eau douce Guyanais.

- **Évaluer l'impact du changement climatique sur le littoral**

Les zones côtières sont soumises à une pression anthropique croissante du fait de leur attractivité. En 50 ans, la pression démographique s'y est considérablement accrue, la population des communes côtières européennes ayant doublé au cours de cette période, pour atteindre 70 millions d'habitants en 2001 (EuroSION, 2004). En France, la densité de population des zones côtières est 2,5 fois supérieure à la moyenne. Ainsi, les enjeux (industriels, touristiques, agricoles et environnementaux) se sont concentrés dans ces zones fragiles.

Illustration avec Explore 2070

Trois types d'aléas et leur évolution avec le changement climatique ont été traités dans le cadre du projet EXPLORE 2070 : l'érosion, la submersion permanente et temporaire et les biseaux salés.

L'objectif a été d'évaluer les effets du changement climatique sur la vulnérabilité des territoires à l'érosion côtière et la submersion marine à deux échelles : nationale et régionale (Languedoc- Roussillon et La Réunion).

Dans son volet méthodologique, le projet a exploré les apports d'une cartographie décisionnelle multicritères (Analytical Hierarchy Process) pour l'évaluation de la vulnérabilité physique de la zone côtière.

Dans l'étude sur le Languedoc-Roussillon, la méthode proposée (analyse cartographique multicritères) est une alternative aux projections déterministes de l'évolution des aléas dans la zone côtière qui se heurtent à des incertitudes très importantes. Avec la méthode proposée, des incertitudes demeurent mais elles peuvent être évaluées qualitativement.

Récapitulatif des sept étapes

L'étape 1 consiste à sélectionner un scénario de forçage radiatif. Les scénarios disponibles sont la résultante de facteurs socio-économiques considérés à l'échelle du globe : démographie, choix énergétique, croissance économique, politiques agricoles, etc.

L'étape 2 vise à modéliser les changements climatiques avec des modèles globaux (planétaires) à large maille. Ces modèles simulent le système global de circulation atmosphérique (avec ses interactions végétation-sols/océans/atmosphère) et l'impact des gaz à effet de serre sur ce système.

L'étape 3 revient à effectuer une descente d'échelle. Il s'agit d'obtenir, à partir des données de sortie des modèles globaux, par diverses méthodes possibles, des résultats de projections climatiques à un pas d'espace plus fin, compatible avec les bassins versants sur lesquels les impacts du changement climatique vont être étudiés.

L'étape 4 permet de modéliser les impacts du changement climatique par l'utilisation de modèles transformant les signaux climatiques en signaux hydrologiques, hydrogéologiques, autres.

L'étape 5 consiste à modéliser l'évolution de la demande en eau sous climat constant puis climat changeant.

L'étape 6 vise à quantifier les incertitudes.

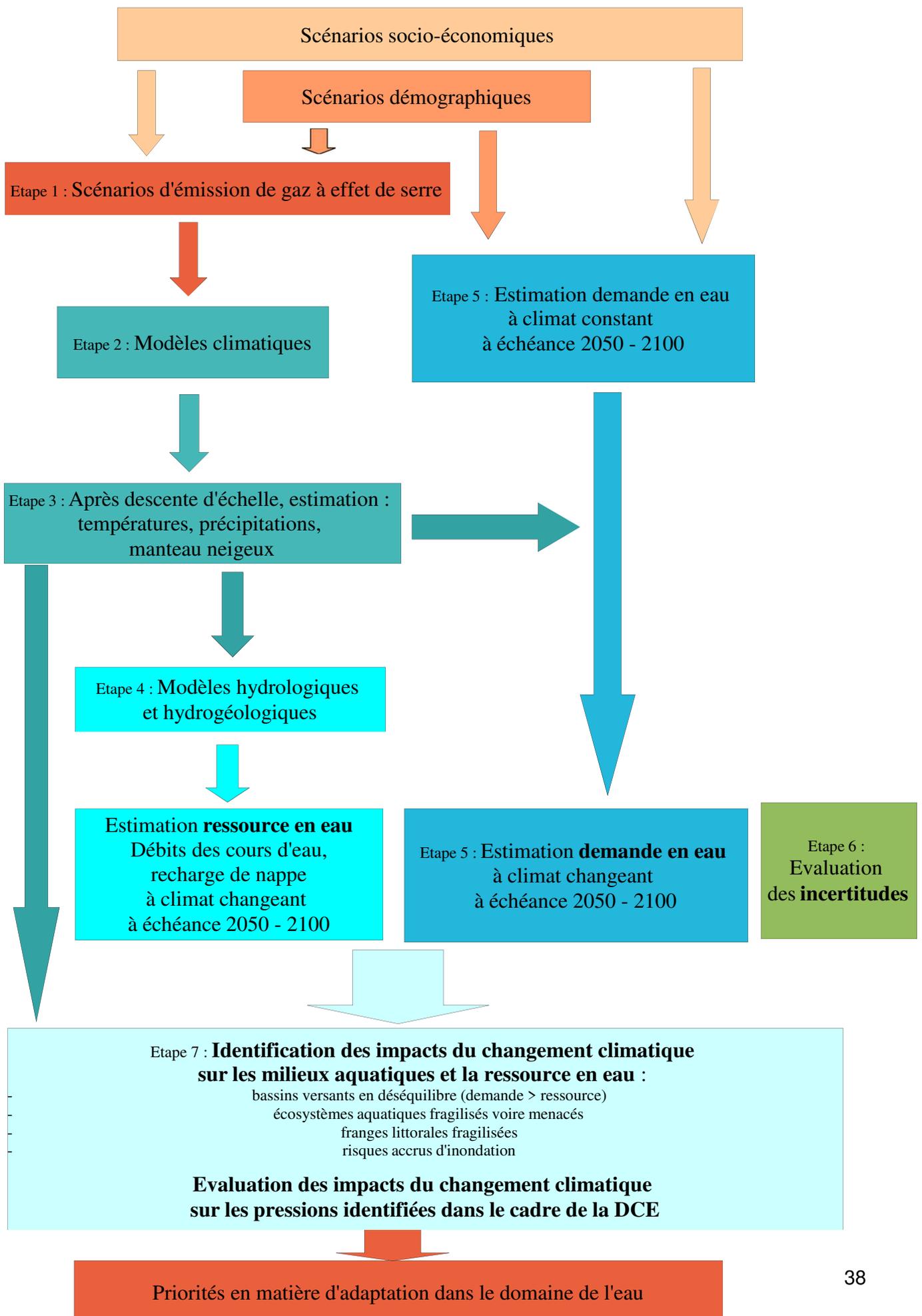
L'étape 7 a pour objectif, sur la base de l'ensemble des résultats des dernières étapes, d'évaluer l'impact du changement climatique sur :

- l'équilibre entre la disponibilité et la demande en eau à l'échelle des bassins versants,
- les écosystèmes aquatiques
- le littoral
- les inondations
- autres.

Les résultats obtenus à l'issue de l'étape 7 doivent permettre :

- d'une part de préciser la vulnérabilité du bassin au changement climatique et d'identifier en particulier les bassins versants susceptibles d'être davantage ou nouvellement concernés par des déficits structurels en eau, les écosystèmes aquatiques qui risquent d'être fragilisés voire menacés du fait du changement climatique, les impacts potentiels sur la frange littorale, les risques potentiellement accrus d'inondation, etc.
- d'autre part, d'évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur les types de pressions identifiés à l'échelle du bassin dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE.

Le schéma suivant récapitule les sept étapes de cette démarche générale des études d'impact.



ANNEXE 7

Les principaux résultats EXPLORE 2070

Les impacts du changement climatique

Évolution attendue entre la période de référence (1961-1990) et la période projetée (2046-2065).

Eaux de surface

- Réduction du débit des cours d'eau de **20%** en moyenne annuelle (+5% à -60%)
 - o Baisses les plus fortes : Garonne, Seine et Loire.
- Réduction des débits d'étiage (Août) de **30 à 60%**

Eaux souterraines

- Réduction de la recharge des nappes de **30%** en moyenne annuelle (0% à -60%)
 - o Baisses les plus fortes : Garonne, Seine et Loire.

Ecosystèmes aquatiques

- **Espèces piscicoles :**
 - o Espèces des domaines amont menacées par la remontée de celles des domaines intermédiaires et aval et par les périodes d'assecs plus fréquentes ;
 - o Communautés piscicoles plus diverses mais moins typiques.
- **Zones humides :**
 - o Une vulnérabilité en lien étroit avec leur fonctionnement hydrologique et leur localisation.

Littoral

- **Augmentation de la vulnérabilité des zones littorales** méditerranéenne et atlantique :
 - o pression démographique plus forte
 - o expansion des zones exposées à l'érosion / submersion

Prospective : scénario tendanciel

- Réduction des prélèvements AEP de **7% à 12 %**
- Réduction des prélèvements industriels de **56%**
- Stabilité des prélèvements énergétiques (centrales nucléaires fluviales)
- Augmentation des prélèvements agricoles de **42 % à 66%**
- Stabilité des prélèvements totaux (**0% à - 2%**)

Evolution attendue entre la période de référence (1961-1990) et la période projetée (2046-2065).

Stratégies d'adaptation évaluées au niveau national

- Stratégie « Sobriété dans les usages » :
 - o Substitution de 100% du maïs irrigué par des cultures moins consommatrices en eau
 - o Baisse supplémentaire de 20 % de la consommation AEP et industrie
- Stratégie « Augmentation des besoins en eau » :
 - o Augmentation des surfaces irriguées au nord et au sud de la Loire
 - o Pas de baisse supplémentaire de la consommation AEP et industrie
- Stratégie « intermédiaire » :
 - o Substitution de 50% du maïs irrigué par des cultures moins consommatrices en eau
 - o Augmentation des surfaces irriguées au nord de la Loire
 - o Baisse supplémentaire de 20 % de la consommation AEP et industrie:

Principaux enseignements

- **Aucune stratégie ne parvient à contrebalancer totalement les impacts du changement climatique et à revenir à une situation comparable à la situation actuelle :**
 - o La stratégie « Sobriété » permet de maîtriser les prélèvements sans pour autant suffire à résorber les déficits.
 - o La stratégie « Augmentation des besoins » accentue les déséquilibres.
 - o La stratégie « intermédiaire » permet dans une certaine mesure de maîtriser les prélèvements agricoles mais y parvient moins bien que la stratégie « Sobriété ».
- **Les bassins qui seraient concernés par des déficits structurels sont ceux qui le sont déjà aujourd'hui et auxquels s'ajouteraient de nouveaux bassins.**
- **La diminution des débits estivaux devrait accroître fortement la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques.**
 - Les eaux souterraines, notamment au niveau du bassin parisien, devraient être soumises à des pressions plus fortes qu'aujourd'hui, à cause de l'effet de cisaillement entre une recharge naturelle en forte baisse et des besoins en irrigation en forte hausse.
 - Dans certains bassins, les sites industriels et les centrales nucléaires pourraient faire face des pénuries à cause de débits estivaux trop faibles.