4

Agir pour réduire la vulnérabilité des peuplements de poissons

Ce chapitre a été rédigé par
Florence Baptist (Biotope)
Quentin Molina (Biotope)
Olivier Perceval (Onema)
Céline Lacour (Onema)
Bénédicte Augeard (Onema)
Thomas Pelte (Agence de l'eau RMC)
Nirmala Séon-Massin (ONCFS)
Nicolas Poulet (Onema)

Avec la contribution de
Philippe Baran (Onema)
Daniel Gerdeaux (Inra)
Etienne Prévost (Inra)
Eric Rochard (Irstea)

88 Introduction

89 Les stratégies d'adaptation

92 L'adaptation en France métropolitaine dans le domaine de l'eau : une démarche bien amorcée

113 Conclusions et perspectives

Introduction

Les précédents chapitres ont permis de mettre en exergue un certain nombre d'enjeux en lien avec le changement climatique. En France, les températures de l'air et de l'eau ont augmenté d'environ 1°C au cours du XX^{e} siècle. L'hydrologie de surface ou souterraine a également été affectée mais les tendances sont moins claires du fait des difficultés rencontrées pour dissocier les effets liés au changement climatique de ceux associés aux activités humaines locales. A l'horizon des trente prochaines années, le réchauffement devrait être compris entre 1,5°C et 3°C et ce quel que soit le scénario d'émission de gaz à effet de serre (GES) considéré. Du fait d'une augmentation de l'évapotranspiration, les débits moyens mensuels tout comme le taux de recharge des nappes devraient diminuer et les étiages être renforcés sur de vastes portions du territoire métropolitain.

Les conséquences de ces modifications climatiques et hydrologiques sur les espèces dulçaquicoles sont nombreuses. Des effets au niveau de la reproduction, de la croissance et des rythmes saisonniers de certaines espèces de poissons ont par exemple été observés. Certaines espèces se sont déplacées le long du cours d'eau en étendant leur limite amont lorsque le déplacement n'était pas contraint pas d'autres facteurs comme les obstacles à la migration. Dans les décennies à venir, l'ensemble des modèles annoncent un glissement des aires de répartition des espèces d'eau froide vers les zones amont. Dans ce contexte, les espèces situées dans les zones intermédiaires ou aval telles que les cyprinidés ou les centrarchidés devraient être favorisées alors que d'autres circonscrites au domaine amont seraient particulièrement menacées. Les pressions anthropiques (barrages, retenues, artificialisation des berges, prélèvements pour divers usages, rejets d'eau usée, etc.) accentueront ces effets conduisant très probablement à une accélération des changements écologiques au sein des milieux dulçaquicoles.

Les conséquences probables du changement climatique ont donné lieu à une prise de conscience des politiques qui s'est traduite par l'élaboration de différents plans d'adaptation à l'échelle mondiale, nationale ou bien locale. La présentation de ces stratégies et des actions qui y sont associées font l'objet du présent chapitre. La première section expose les différentes formes de stratégie d'adaptation, leur cadre conceptuel et les étapes qui permettent leur construction. La deuxième section présente les initiatives françaises dans le cadre de l'adaptation au changement climatique et propose quelques actions pouvant réduire efficacement la vulnérabilité des espèces de poissons en France.

Les stratégies d'adaptation

Eléments de définition

Le quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC 2007) définit l'adaptation comme « l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques ». Elle est complémentaire à l'atténuation qui a pour objectif de limiter l'accroissement des concentrations de GES dans l'atmosphère (encadré 14).

Encadré 14

Adaptation ou atténuation ?

A la différence de l'adaptation, les stratégies d'atténuation visent à limiter l'accroissement des concentrations de GES dans l'atmosphère (GIEC 2007).
Atténuation et adaptation sont complémentaires : l'atténuation vise à éviter ce à quoi on ne saura pas s'adapter, et l'adaptation à atténuer ce qu'on ne pourra pas éviter. En effet, sans une réduction des émissions de GES, la mise en place de stratégies d'adaptation efficaces sera plus complexe et incertaine. Dans cette perspective, la Convention cadre des nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) a souligné la nécessité de trouver une synergie dans les ressources à consacrer respectivement à l'atténuation et à l'adaptation, car c'est le niveau d'effort porté sur ces deux composantes qui déterminera le degré de risque lié aux impacts du changement climatique. A noter toutefois que certaines mesures d'atténuation, comme la promotion de certaines sources d'énergie (centrales nucléaires, hydroélectricité, agrocarburants) peuvent être antagonistes avec certaines mesures d'adaptation (thermie de l'eau, continuité écologique).

En d'autres termes, il s'agit du développement d'une série de mesures dans l'objectif d'anticiper et réduire la vulnérabilité[32] des systèmes à différentes échelles spatiales et temporelles. Cette vulnérabilité est fonction de la nature, de l'importance et de la fréquence des variations climatiques auxquelles un système se trouve exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.
Différents types d'adaptation ont été définis par le GIEC (2007) :

- l'adaptation anticipative (ou proactive) : adaptation qui a lieu avant que les effets des changements climatiques ne soient observables ;
- l'adaptation autonome (ou spontanée) : adaptation qui ne constitue pas une réaction réfléchie aux stimuli climatiques, mais qui résulte de changements écologiques des systèmes naturels et/ou d'une évolution des conditions socio-économiques propres aux systèmes anthropiques ;

32- Les notions de vulnérabilité sont centrales dans le concept d'adaptation. Selon le GIEC (2007), la vulnérabilité correspond au « degré par lequel un système risque d'être affecté négativement par les effets des changements climatiques sans pouvoir y faire face, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes ». La vulnérabilité résulte de la combinaison de trois facteurs qui sont (1) l'exposition du système aux impacts et aléas climatiques (nature et ampleur des perturbations climatiques), (2) sa sensibilité (dommages potentiels) et (3) sa capacité d'adaptation (capacité d'ajustement du système pour faire face aux conséquences des perturbations). La vulnérabilité d'un milieu ou d'une espèce est d'autant plus forte que sa sensibilité et son exposition sont élevées et que sa capacité d'adaptation est faible.

■ l'adaptation prévue ou planifiée : adaptation qui résulte de décisions stratégiques délibérées, fondées sur une perception claire des conditions qui ont changé, ou qui sont sur le point de changer, et sur les mesures qu'il convient de prendre pour revenir, s'en tenir ou parvenir à la situation souhaitée ;
■ l'adaptation réactive : adaptation qui a lieu après que les effets des changements climatiques ont été observés.
Récemment, ont vu le jour d'autres formes d'adaptation comme par exemple « l'adaptation basée sur les écosystèmes » (voir encadré 15).

Encadré 15

L'adaptation basée sur les écosystèmes (EbA)

L'adaptation fondée sur les écosystèmes fait appel à la gestion durable, à la conservation et à la restauration des écosystèmes pour fournir des services permettant aux populations de s'adapter aux effets négatifs des changements climatiques. Elle vise à maintenir et à accroître la résilience, tout en réduisant la vulnérabilité des écosystèmes et des communautés humaines aux effets négatifs du changement climatique. L'EbA est un moyen d'adaptation qui peut avoir des effets bénéfiques sur les plans social, économique et culturel, contribuer à la conservation de la biodiversité, et renforcer les connaissances traditionnelles des populations autochtones et des communautés locales.

L'intérêt d'une telle typologie est de montrer la diversité des mesures et la complémentarité à rechercher, notamment, entre des mesures proactives menées par l'action publique et la capacité des gestionnaires à s'adapter de façon réactive. La compréhension des différents types d'adaptation est également essentielle dans une perspective d'évaluation des coûts et de définition de plans d'actions (Basilico *et al.* 2010). En effet, certaines mesures dites « réversibles » permettent de changer de stratégie ou recalibrer l'adaptation, d'autres dites « irréversibles » s'appliquent sur un plus long terme et ne permettent pas de remplacement ou recalibrage (risque de mal-adaptation[33]).

■ Elaboration d'une stratégie d'adaptation : les différentes étapes

Il n'existe pas de procédure imposée dans l'élaboration des stratégies et mesures d'adaptation. Cependant, les instances communautaires tentent d'orienter les états membres afin de mettre en place des programmes cohérents et viables à l'échelle européenne.

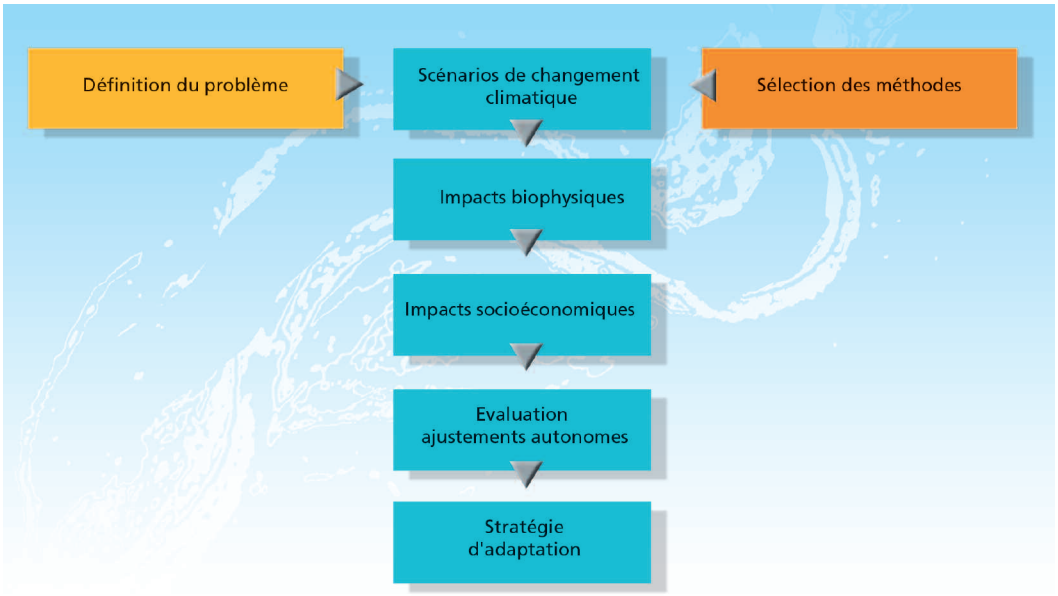
La littérature identifie deux techniques d'approches dans l'élaboration des stratégies et mesures d'adaptation : l'approche descendante « *top-down* » et l'approche ascendante « *bottom-up* » (Carter *et al.* 1994).

L'approche « *top-down* » utilise le développement de modèles climatiques à partir de scénarios socioéconomiques projetés pour estimer les impacts sur les territoires, les milieux, les espèces et les vulnérabilités qui en découlent (la vulnérabilité étant ici conçue comme un « point d'arrivée » de l'analyse) (Figure 48).

En prenant en compte les expériences passées et l'état de la capacité d'adaptation selon différents indicateurs (ressources économiques, infrastructures, technologie…), l'approche *bottom-up* estime la vulnérabilité des territoires, des milieux, des espèces à partir de leur capacité adaptative. Aujourd'hui, les évaluations sont devenues de plus en plus complexes mélangeant souvent les deux méthodes pour les prises de décision (Dessai *et al.* 2004, Kates et Wilbanks 2003, McKenzie Hedger *et al.* 2006). On peut même parler de cas par cas pour les hydrosystèmes tant ils sont sensibles et vulnérables au changement climatique.

33- La mal-adaptation est un changement dans les systèmes naturels ou humains qui conduit à augmenter la vulnérabilité au lieu de la réduire (GIEC 2007).

Figure 48



Approche « Top-Down » guidée par les scénarios de changement climatique avec une orientation sectorielle (Carter et al. *1994).*

La gestion de l'incertitude

Dans le domaine de l'adaptation au changement climatique, trois types d'incertitudes s'additionnent :

- celles sur l'évolution future du climat – les impacts attendus du changement climatique étant incomparables selon qu'on se situe dans un scénario de hausse moyenne de +2°C ou de +4°C ;
- celles sur les conséquences possibles d'un scénario climatique donné au plan local ;
- et celles sur l'évolution des capacités d'adaptation de nos sociétés dans le futur.

Ces différents niveaux d'incertitude interagissent les uns avec les autres rendant la situation encore plus incertaine (Mearns 2010). En effet, le déroulement même du changement climatique aura un effet sur les capacités d'adaptation et sur la nature des mesures d'atténuation qui seront prises. En retour, ces dernières influeront à nouveau sur le déroulement du changement climatique. Face à ces incertitudes, l'ensemble des mesures conçues pour s'adapter aux effets du changement climatique peuvent conduire à des résultats non conformes aux attentes et donc à une situation de mal-adaptation. Ce phénomène peut, par exemple, survenir après une erreur de calibrage, c'est-à-dire une mauvaise calibration des mesures d'adaptation consécutive à une mauvaise anticipation de la nature ou de l'ampleur des changements futurs ou d'une réponse inadéquate à cette anticipation. Elle peut aussi survenir lorsqu'une mesure d'adaptation a abouti à un transfert de vulnérabilité d'un système à un autre - ce qui souligne l'importance d'approches intégrées - ou d'une période à une autre (une mesure peut être positive sur une période et négative ensuite, ou inversement).

Trois types d'outils ont ainsi été proposés par l'Ademe (Hernandez *et al.* 2012) pour intégrer ces différents niveaux d'incertitude dans la prise de décision :

- la gestion adaptative : elle permet de concevoir et de gérer l'adaptation comme un processus souple, ouvert et itératif, permettant d'intégrer les avancées en matière de changement climatique. Il s'agit par exemple de promouvoir une planification de long terme adossée à un processus de révision et d'amélioration continues des stratégies d'adaptation alimenté par des dispositifs pérennes d'observation et d'amélioration des connaissances sur le climat et l'hydrologie. Dans le cadre de ce type de dispositif, la difficulté consiste à éviter les effets de rupture (seuil) pouvant engendrer un phénomène de mal-adaptation ;
- les mesures sans regret : elles procurent des bénéfices pour des enjeux autres que l'adaptation, facilitant la prise de décision en contexte d'incertitude. En d'autres termes, ce sont des mesures qui réduisent les vulnérabilités et génèrent des bénéfices environnementaux et sociaux quelle que soit l'évolution du climat. Cela peut par exemple supposer d'investir dans des infrastructures à la durée de vie moins longue (construction de plusieurs barrages colinéaires à faible coût plutôt qu'un ouvrage de très grande taille) ;
- l'analyse des différentes options d'adaptation : elle permet de choisir les actions les plus pertinentes à partir de la prise en compte des différents scénarios climatiques.

L'adaptation en France métropolitaine dans le domaine de l'eau : une démarche bien amorcée

Quel que soit le domaine, l'adaptation au changement climatique se construit en plusieurs étapes. La réalisation de projets d'études et de recherche ou la constitution de groupes d'experts de différentes disciplines constituent la première étape et permettent dans le cas spécifique des poissons d'eau douce d'évaluer leur vulnérabilité ou celles de leur milieu. A l'issue de ces travaux, la production de documents synthétiques et/ou d'indicateurs de vulnérabilité permet d'alimenter le débat politique, l'élaboration et la mise en œuvre des textes réglementaires et la construction de plans d'adaptation applicables à l'échelle nationale puis déclinés et adaptés à des échelles infra. En parallèle, le transfert des résultats obtenus à destination des gestionnaires alimente les plans de gestion ainsi que les fiches action qui les déclinent. La faisabilité et l'efficacité des actions proposées peuvent ainsi être évaluées et adaptées au contexte local.

La définition des enjeux à travers la réalisation de projets de recherche

Ces dernières années, un certain nombre de projets financés par différentes instances (ministère en charge de l'écologie, avec notamment le programme de recherche « gestion et impacts du changement climatique », agence nationale pour la recherche, Onema, agences de l'eau, etc. (Basilico *et al.* 2009)) ont été menés dans l'objectif d'évaluer l'impact du changement climatique sur les ressources en eau et les écosystèmes associés. L'obtention de ces résultats apporte des éléments dans l'objectif de formuler et mettre en œuvre de mesures d'adaptation cohérentes à une échelle locale ou nationale. Quelques-uns de ces projets sont présentés ci-dessous. Seules deux études se sont intéressées aux milieux et espèces des écosystèmes dulçaquicoles (projet Explore 2070 et projet AMICE, encadré 16). Les autres se sont principalement focalisées sur la gestion de l'eau dans un contexte de raréfaction de la ressource (Encadré 16).

D'autres initiatives ont également été menées ces dernières années. Signalons par exemple le rapport du groupe de travail interministériel sur l'évaluation des impacts du changement climatique, du coût des dommages et des mesures d'adaptation en France, en septembre 2009. Cette réflexion, mise en place au mois de mars 2007 et piloté par le MEDDE et l'Onerc, a associé différents départements ministériels (agriculture, santé, tourisme...) et de nombreux experts afin d'évaluer le coût des impacts du changement climatique ainsi que les mesures pertinentes d'adaptation. Le travail a été organisé selon neuf thématiques : agriculture-forêt, santé, tourisme, biodiversité, eau, risques, infrastructures de transport et bâti, énergie et enfin territoires.

Présentation de quelques projets de recherche dans le domaine de l'eau et du changement climatique

Le projet Explore 2070

Le projet Explore 2070, qui s'est déroulé de juin 2010 à octobre 2012, avait pour objectif :

- d'évaluer les impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau à échéance 2070, pour anticiper les principaux défis à relever et hiérarchiser les risques encourus ;
- d'élaborer et d'évaluer des stratégies d'adaptation dans le domaine de l'eau en déterminant les mesures les plus appropriées pour répondre aux défis identifiés tout en minimisant les risques encourus.

Le projet a été porté par le ministère en charge du développement durable (direction de l'eau et de la biodiversité, direction générale de la prévention des risques, direction générale de l'énergie et du climat, commissariat général au développement durable) avec la participation de l'Onema, du Cetmef, des agences de l'eau, des Dreal de bassin. Rassemblant une centaine d'experts venant d'établissements de recherche et de bureaux d'études spécialisés, ce projet a abouti à la construction d'un modèle « confrontation offre-demande en eau » permettant d'évaluer la vulnérabilité de l'ensemble des bassins versants en France au regard des évolutions socio-économiques et du changement climatique tenant compte des risques de non satisfaction des demandes en eau des quatre principaux usages anthropiques (approvisionnement en eau potable, agriculture, industrie, énergie) mais aussi de la demande environnementale. Dans le cas spécifique des milieux dulçaquicoles, ce projet a permis l'élaboration d'indicateurs de vulnérabilité pour 38 espèces de poissons d'eau douce (Encadrés 12 et 13 dans le chapitre 3). L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce projet sont mis à disposition à l'adresse suivante : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-strategies-d.html

Le projet AMICE

Financé dans le cadre du programme européen INTERREG IV B ENO (2009-2013), le projet AMICE visait à établir une stratégie concertée pour l'adaptation aux impacts des évolutions du climat sur les régimes d'inondation et de sécheresse au sein du bassin de la Meuse. Impliquant 17 organisations partenaires d'Allemagne, Belgique, France et Pays-Bas, ce projet s'est articulé autour de différents groupes de travail dont les objectifs étaient :

- l'amélioration de la connaissance des impacts du changement climatique sur le bassin de la Meuse (incluant les milieux naturels et espèces) ;
- la création d'un réseau d'aménagements diffus pour l'amortissement des pics de débits ;
- la prise en compte des possibles débits futurs dans la gestion des grands aménagements existants ;
- l'amélioration de la gestion de crise inondation ;
- la diffusion des résultats et communication.

Comme dans le cas du projet Explore 2070, le projet AMICE a abouti à la proposition d'un indicateur de vulnérabilité pour un certain nombre d'espèces de poissons présentes au sein de la vallée alluviale de la Meuse.

Les résultats de ce projet sont disponibles à l'adresse suivante : http://www.amice-project.eu/fr/index.php

R²D²2050 - Risque, ressource en eau et gestion durable de la Durance en 2050

Le projet R2D22050, mené dans le cadre du programme Gestion et impacts du changement climatique (GICC 2010-2013), avait pour objectif d'élaborer une vision prospective de la gestion de l'eau à l'échelle d'un territoire complexe et fortement anthropisé : le bassin de la Durance (13 000 km²). Le fonctionnement actuel de l'hydrosystème a été étudié (aspects quantitatifs et biologiques) puis sa dynamique a été évaluée sur la base de scénarios climatiques socio-économiques territoriaux en étroite relation avec

les acteurs de terrain impliqués dans la gestion de l'eau. Les principaux déterminants (entrées et sorties des représentations mises en œuvre) ont été appréhendés, décrits et modélisés à différentes échelles emboîtées, depuis l'échelle européenne jusqu'aux entités de gestion de ce bassin. En outre au travers d'une plate-forme de modélisation intégrée des régimes influencés (tenant compte des éléments de gestion), transverse aux actions thématiques et qui servira dans les exercices de prospective usage/ressource, ce projet a permis l'élaboration d'une vision dynamique et quantifiée de différents scénarios de gestion établis en concertation avec les acteurs.
Plus d'information disponible à cette adresse :
http://onerc.developpement-durable.gouv.fr/fr/projet/r2d22050-risque-ressource-en-eau-et-gestion-durable-de-la-durance-en-2050

REMedHE - Identification et impacts du changement climatique sur la gestion intégrée des ressources en eau en Méditerranée : évaluation comparative Hérault-Ebre

Le projet REMedHE, mené dans le cadre du programme GICC 2012-2015, vise à appréhender les interrelations complexes entre forçages climatiques, pressions humaines et écoulements à des échelles opérationnelles sur deux bassins versants méditerranéens : le bassin de l'Hérault (2 500 km²) dans le sud de la France et le bassin de l'Ebre (85 000 km²) en Espagne. Dans cet objectif, il s'agit de développer, pour chaque bassin versant, une chaîne de modélisation intégrée « ressources-usages » de l'eau de manière à :

- représenter le fonctionnement de ces hydrosystèmes et leur évolution sur les 50 dernières années ;
- proposer des scénarios hydrologiques sous contrainte de changement climatique et d'évolution des usages de l'eau à court (2025) et moyen (2050) termes ;
- évaluer le niveau d'adéquation entre la disponibilité de la ressource et les demandes futures ;
- tester des stratégies d'adaptation/atténuation à travers une co-construction de scénarios avec les gestionnaires de bassin.

Cette méthode devrait permettre de comparer l'état de vulnérabilité actuel et futur des ressources en eau en fonction des besoins.
Plus d'information disponible à cette adresse : http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/535

HYCCARE Bourgogne-hydrologie, changement climatique, adaptation, ressource en eau en Bourgogne

Dans l'objectif de préparer la décision publique vis-à-vis de la mise en œuvre des mesures d'adaptation au changement climatique, le projet HYCCARE, mené dans le cadre du programme GICC 2012-2015, a pour objectif de mieux caractériser localement les impacts du changement climatique et de développer des synergies entre chercheurs et acteurs du territoire.
Ce projet s'articule autour de deux axes :

- l'un sur la construction de connaissances relatives aux impacts du changement climatique sur la ressource en eau d'une dizaine de bassins versants et sur les vulnérabilités qui en découlent. Les résultats attendus sont une meilleure connaissance des évolutions probables de l'aléa climatique, et une estimation de la sensibilité des bassins versants au travers de l'évolution de la capacité de la ressource à se régénérer. L'échelle spatio-temporelle fine de ces résultats contribuera à rendre lisible le risque pour les acteurs du territoire ;
- l'autre, sur le jeu des acteurs qui se construit autour des modes d'adaptation et de gestion de la ressource. L'analyse des dynamiques collectives autour des vulnérabilités et des pistes d'adaptation permettra de discerner où sont les leviers pour qu'émerge une politique publique autour des questions du changement climatique et de ses impacts.

Plus d'information à l'adresse suivante : http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/534

■ Le plan national d'adaptation pour le changement climatique (PNACC)

Sous l'impulsion du ministère en charge de l'écologie, les premières démarches d'adaptation en France ont vu le jour à la fin des années 1990 aboutissant à la création en 2001 d'un observatoire national sur les effets du réchauffement climatique en France métropolitaine et dans les départements d'outre-mer (Onerc) en lien direct avec le GIEC. L'Onerc, rattaché depuis 2008 à la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), vise à disséminer les informations liées au réchauffement climatique, formuler des recommandations sur les mesures de prévention et d'adaptation et contribuer au dialogue sur les changements climatiques avec les pays en développement.

En parallèle et suite aux travaux du plan climat en 2004 et à l'élaboration de la stratégie nationale d'adaptation au changement climatique en 2006, la France a définitivement adopté un plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) le 20 juillet 2011 (Encadrés 17 et 18 sur les mesures d'atténuation). En incorporant l'adaptation au sein de l'ensemble des politiques publiques, c'est d'après l'Onerc, le premier plan de cette ampleur publié au sein de l'Union européenne.

Ce plan national a abouti à la production de plus de 80 actions détaillées, déclinées en 230 mesures. Vingt domaines ont été abordés dont ceux de l'eau et de la biodiversité. Quelques exemples sont présentés ci-dessous.

Les mesures phare de la fiche eau :

■ améliorer notre connaissance des impacts du changement climatique sur les ressources en eau et des impacts de différents scénarios possibles d'adaptation ;
■ se doter d'outils efficaces de suivi des phénomènes de déséquilibre structurel, de rareté de la ressource et de sécheresse dans un contexte de changement climatique ;
■ développer les économies d'eau et assurer une meilleure efficience de l'utilisation de l'eau - Réduire de 20 % les quantités d'eau prélevées, hors stockage d'eau d'hiver, d'ici 2020 ;
■ accompagner le développement d'activités et une occupation des sols compatibles avec les ressources en eau disponibles localement ;
■ renforcer l'intégration des enjeux du changement climatique dans la planification et la gestion de l'eau, en particulier dans les prochains programmes d'intervention des agences de l'eau (2013-2018) et les prochains schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE 2016-2021).

Les mesures phare de la fiche biodiversité :

■ intégrer les enjeux de biodiversité liés à l'adaptation au changement climatique dans la recherche et l'expérimentation ;
■ renforcer les outils de suivi existants pour prendre en compte les effets du changement climatique sur la biodiversité ;
■ promouvoir une gestion intégrée des territoires prenant en compte les effets du changement climatique sur la biodiversité ;
■ intégrer l'adaptation au changement climatique dans les stratégies et les plans mis en œuvre par l'État pour préserver la biodiversité.

Deux ans après la mise en œuvre de ce plan, peu de mesures peuvent être considérées comme achevées, en revanche la plupart sont engagées (81% des mesures et 96% des actions). A noter que certains bassins ont entrepris une déclinaison territoriale du PNACC dans l'objectif d'assurer une première mise en œuvre des mesures d'adaptation. C'est par exemple le cas du bassin Rhône - Méditerranée qui a adopté en 2013 le plan de bassin d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau. Il établit un diagnostic de vulnérabilité à l'échelle du bassin par une approche indicielle exprimée sous forme de cartes, pour cinq enjeux ; disponibilité en eau, bilan hydrique des sols, biodiversité, niveau trophique des eaux et enneigement. Ce plan de bassin propose une stratégie d'adaptation et un panel de mesures pour réduire la vulnérabilité. Il est téléchargeable à l'adresse suivante : www.eaurmc.fr/climat

Encadré 17

Le schéma régional climat-air-énergie (SRCAE)

En parallèle à l'élaboration du plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010 a abouti à la création du schéma régional climat-air-énergie (SRCAE), co-piloté par le préfet de région et le président du conseil régional.
Ce schéma définit des objectifs régionaux aux horizons 2020-2050 en matière de réduction des gaz à effet de serre, de maîtrise de la demande énergétique, de développement des énergies renouvelables, de lutte contre la pollution atmosphérique (stratégie d'atténuation) et d'adaptation au changement climatique.
En pratique, ce dispositif promeut principalement des mesures d'atténuation qui présentent un intérêt pour la biodiversité uniquement sur le long terme.

Encadré 18

Le plan climat-énergie territorial (le PCET)

Le Plan climat-énergie territorial (PCET) est un document de planification institué par le plan climat national et repris par les lois Grenelle 1 et 2. Obligatoire pour les communes de plus de 50 000 habitants, il vise à assister les collectivités locales et à inclure les considérations énergétiques dans les politiques publiques de ces institutions. Il a aussi comme objectif de limiter les émissions de GES, et de mettre en place au niveau local une stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique.
Le PCET comporte généralement :
- un état des lieux (bilan carbone, empreinte énergétique, cadastre des émissions de GES (diffuses, mobiles ou ponctuelles) ;
- un travail de prospective (tendances lourdes, phénomènes émergents) ;
- des objectifs quantifiés dans le temps, basés *a minima* sur les objectifs nationaux et européens (facteur 4 en 2050, « 3 x 20 » pour 2020) ;
- un volet atténuation et un volet adaptation ;
- des indicateurs (généralement d'état, pression et réponse) de suivi et d'évaluation à l'échelle du territoire considéré (national, régional, municipal, etc.).

A noter que le PCET doit être pris en compte par le schéma de cohérence territoriale (SCoT) et le plan local d'urbanisme (PLU) et doit être compatible avec le schéma régional climat-air-énergie (SRCAE) que les régions doivent élaborer avec le préfet (voir encadré 17). Il peut par ailleurs constituer le « volet climat » d'un Agenda 21 de collectivité ou d'un projet territorial de développement durable. Enfin, il peut, lorsque qu'il est élaboré par la région et que cette dernière le souhaite, être directement intégré dans le SRCAE.

■ L'intégration des enjeux liés au changement climatique dans les outils réglementaires européens et français de la gestion de l'eau

Bien que le GIEC ait alerté les politiques dès 1988 sur les conséquences possibles du changement climatique, sa prise en compte dans les textes réglementaires est relativement tardive (encadré 19).

Encadré 19

L'adaptation dans le monde : rappel historique

Historiquement, c'est le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui a répandu et popularisé la notion d'adaptation. Cet organisme a été créé en 1988 par l'organisation météorologique mondiale (OMM) et le programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Il a pour mission de rendre compte de l'état des connaissances scientifiques relatives à l'évolution du climat mondial, ses impacts, et les moyens de l'atténuer. Bien que les travaux du GIEC n'aient aucune portée réglementaire, leur influence sur les politiques publiques en matière de climat et de maîtrise des pollutions a été significative à travers le monde puisque de nombreux plans climat incluant des stratégies d'adaptation ont vu le jour à partir des années 1990.
Dans ce contexte et pour appuyer les travaux réalisés par le GIEC, l'Union européenne a publié le 29 juin 2007 un livre vert sur l'adaptation au changement climatique en Europe. Ce travail a été poursuivi en publiant un livre blanc le 1er avril 2009 dont l'objectif était de guider les états membres dans la mise en œuvre de leurs stratégies d'adaptation. Enfin, une consultation auprès des états membres au cours de l'année 2012 sur la base de ces deux études a conduit l'Europe à adopter, le 18 juin 2013, une stratégie globale pour ses états membres.
Une synthèse de l'ensemble des mesures mises en place par l'Union européenne dans le cadre de l'adaptation au changement climatique est disponible à l'adresse suivante :
http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest

Ainsi, en 2000, le texte de la directive cadre sur l'eau (DCE) ne mentionnait toujours pas explicitement le changement climatique, ce dernier était encore considéré comme une pression secondaire par rapport aux problèmes de modifications hydromorphologiques ou de pollutions chimiques. Toutefois, en affichant l'objectif de préservation et de restauration de l'état des eaux[34], la DCE était considérée comme un des premiers leviers de réduction de vulnérabilité des espèces et des milieux au changement climatique.

Ce n'est que sept ans plus tard que le changement climatique est officiellement mentionné dans la documentation européenne comme par exemple :
- la directive 2007/60/CE relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondation qui indique la nécessité d'évaluer les risques d'inondations dans un contexte de changement climatique ;
- la communication de la commission au parlement européen et au conseil (COM(2007) 414 final) qui souligne la nécessité de « s'attaquer aux conséquences du changement climatique et en particulier à la rareté de la ressource en eau et aux sécheresses ».

En France, bien que les milieux naturels soient considérés dès 1976 (avec la loi relative à la protection de la nature puis la loi relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources piscicoles du 29 juin 1984), la prise en compte des impacts du changement climatique et la notion d'adaptation n'apparaissent qu'avec la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006. Cette loi transpose la DCE dans le droit français et s'applique à travers deux outils de la gestion des eaux par bassin : les SDAGE[35] et les SAGE[36]. Les avancées conceptuelles majeures sont :
- la reconnaissance du droit à l'eau pour tous ;
- la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans la gestion des ressources en eau.

34- La mise en œuvre de la DCE passe par des plans de gestion qui sont, pour la France, les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) déjà introduits par la loi sur l'eau de 1992.
35- SDAGE : schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.
36- SAGE : schéma d'aménagement et de gestion des eaux.

Néamoins, à l'heure actuelle, aucun outil réglementaire en tant que tel n'oblige à la prise en compte du changement climatique dans la mise en œuvre de mesures de gestion, limitant de fait le processus d'adaptation impulsé lors de la publication du PNACC. Une évolution est toutefois attendue avec la prise en compte des enjeux du changement climatique dans les prochains SDAGE (2016-2021). En outre, une circulaire du 11 février 2013 relative à la feuille de route des services déconcentrés dans le domaine de l'eau, de la biodiversité et des paysages pour la période 2013-2014 appelle les gestionnaires à adapter les prélèvements à la ressource disponible selon les orientations du PNACC (cf. « les mesures phare de la fiche eau » vues précédemment).

■ Panorama des mesures visant à réduire la vulnérabilité des poissons d'eau douce en France

En dépit d'une littérature abondante sur les conséquences du réchauffement climatique, les propositions pour lutter contre les impacts de ce réchauffement sont plus rares. Dans la plupart des cas, il s'agit d'options très générales de gestion de la ressource en eau et qui ne concernent pas directement les poissons ou plus globalement les milieux aquatiques (voir par exemple Plan bleu 2011 ou PNACC).

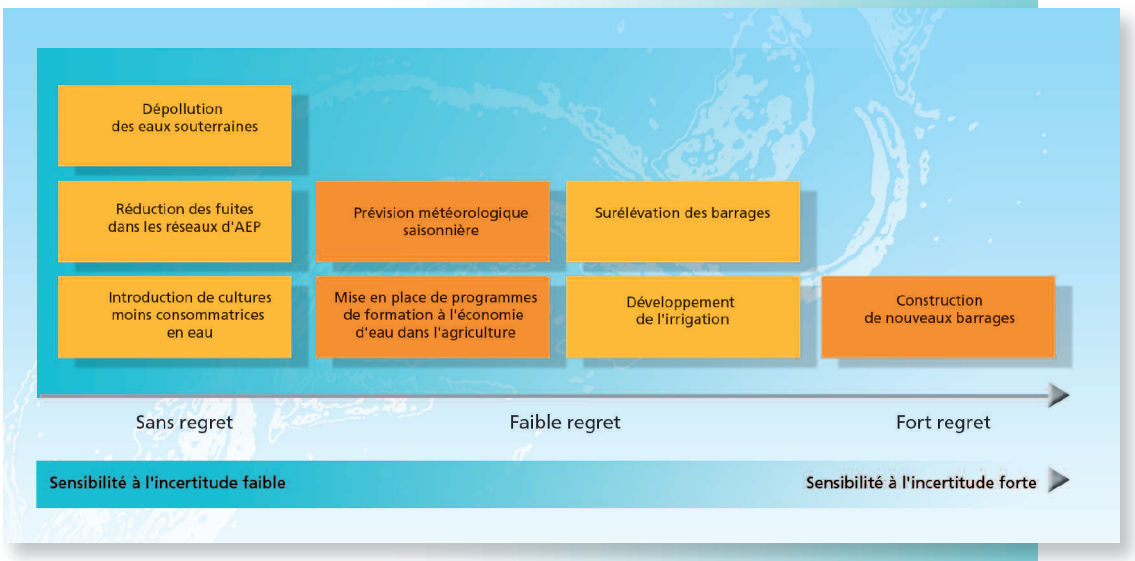
L'objectif de cette section est de décrire les initiatives et/ou mesures qui pourraient de manière efficace contribuer à réduire la vulnérabilité des espèces et des milieux tout en tenant compte des incertitudes liées aux projections climatiques et socioéconomiques (Encadré 20). Elles s'inscrivent très généralement dans le cadre de la restauration ou du maintien du bon état écologique imposé actuellement par la DCE car la plupart renvoie à des types de réponses connues et développées antérieurement à l'avènement des enjeux liés au changement climatique. Il est donc important de s'interroger sur la spécificité du changement climatique et de l'adaptation par rapport aux politiques et pratiques existantes.

Encadré 20

Comment gérer l'incertitude ?

Dans le domaine de l'eau, la question de l'incertitude est particulièrement cruciale du fait de la prédominance du long terme, dans les horizons de la planification sectorielle et dans la durée de vie des investissements (De Perthuis *et al.* 2010, Plan bleu 2011). Les échelles de temps sous-tendant le choix des stratégies et infrastructures hydrauliques correspondent bien souvent à celles du changement climatique (Plan bleu 2011). Pour cette raison, les solutions « sans regret » présentent un avantage certain puisqu'elles permettent de réduire la vulnérabilité aux changements hydrologiques tout en ayant des bénéfices à court terme, et ce indépendamment de l'évolution future du climat et de ses incertitudes (mesures de gestion de la demande en eau par exemple) (Figure 49).

Figure 49



Impact de l'incertitude sur l'efficacité des mesures de gestion et d'adaptation dans le secteur de l'eau (Plan bleu 2011).

Néanmoins, certaines mesures sans ou à faible regret, relevant de la poursuite ou de l'extension des politiques actuelles ou correspondant à des adaptations « à la marge » (comme la gestion de l'efficience hydraulique ou la requalification de certaines infrastructures), s'avèrent particulièrement utiles dans le court terme mais risquent d'être insuffisantes ou extrêmement coûteuses sur le long terme, en particulier lorsqu'elles visent le maintien en l'état d'activités ou d'usages dont la pérennité pourrait être remise en cause par le changement climatique (cas notamment de certaines cultures irriguées). Ces mesures risquent également de masquer la perception des impacts et de freiner l'adoption de mesures de plus long terme et de changements de comportements plus conséquents.
Ainsi, plutôt que de vouloir maintenir l'existant ou de rechercher un type d'adaptation optimale pour un futur climatique donné (logique d'optimisation), il s'agit de mettre au point des trajectoires et des choix de gestion à même de supporter de manière satisfaisante une large gamme de changements au sein d'un éventail de futurs hydrologiques plausibles. En d'autres mots, il s'agirait donc de favoriser la gestion adaptative de la ressource en eau, c'est-à-dire une gestion qui vise à réduire la vulnérabilité et augmenter les capacités d'adaptation à travers un processus d'adaptation « pas-à-pas ».

■ Maintien et restauration des continuités écologiques

Les résultats présentés dans le troisième chapitre montrent à quel point la circulation des espèces est un point clé dans leur adaptation au changement climatique. En effet, le réchauffement des masses d'eau entraîne immanquablement un déplacement de l'habitat favorable de nombreuses espèces vers l'amont. Pour certaines espèces cryophiles (truite commune par exemple), l'aire d'habitat favorable projetée se retrouve cantonnée à des zones refuge en tête de bassin. Le maintien des continuités écologiques existantes et/ou leur restauration seraient donc un levier important pour leur permettre de rejoindre ces habitats. Pour quelques-unes d'entre elles, ce serait même potentiellement une question de maintien de l'espèce dans certains bassins métropolitains (par exemple, truite commune, saumon atlantique, chabots). En outre, cela permet aux organismes aquatiques d'accéder à un habitat plus étendu et plus diversifié en termes de conditions environnementales. En favorisant ainsi la biodiversité, on promeut également une prudente répartition du risque face à l'incertitude des conséquences du changement climatique.

La restauration des continuités écologiques s'opère à l'aide de différents dispositifs.

L'effacement des obstacles (Figure 50) ou, dans une moindre mesure, leur arasement constitue souvent la mesure la plus efficace d'un point de vue écologique car elle permet de reconstituer la continuité pour l'ensemble des espèces, restaurer les habitats lotiques indispensables à de nombreuses espèces (comme les salmonidés et de nombreux cyprinidés rhéophiles) et le transport solide associés. Cette solution se heurte certes à des difficultés de faisabilité, du fait des usages socio-économiques qui lui sont associés (pour les barrages principalement), mais reste une opportunité intéressante au vu du défi posé, du fait de son efficacité et de son coût.

Figure 50

© Henri Carmié - Onema

Situation avant et après effacement en 1998 du barrage de Saint-Etienne-du-Vigan localisé sur l'Allier. Cette opération avait été réalisée dans le cadre du Plan Loire grandeur nature en vue de la restauration du saumon atlantique.

La deuxième solution est la mise en place de passes à poissons, bien qu'il s'agisse en fait d'une mesure d'atténuation des impacts et non d'une restauration totale de la continuité écologique ; en effet seule la continuité piscicole est, en partie, restaurée. Différents types de passes à poissons existent (passes à bassins, passes à ralentisseurs, passes en enrochement, passe à anguille, rivière de contournement). Certaines permettent le passage de différentes espèces, comme par exemple les passes à bassins ou les rivières de contournement, d'autres sont plus sélectives comme les passes à ralentisseurs (destinées principalement aux salmonidés) ou les passes à anguille. Outre les obligations réglementaires (voir plus loin), le choix d'installation de ces dispositifs est souvent lié à des considérations socio-économiques au niveau de l'obstacle à aménager (barrages, usines hydroélectriques, loisirs, coût d'effacement prohibitif, etc.).

Au niveau national, le maintien et la restauration des continuités écologiques est l'objectif de la Trame verte et bleue, déclinée en schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE). La restauration des continuités écologiques constitue par ailleurs un objectif de la DCE. La circulaire DCE 2005/12 relative à la définition du « bon état » mentionne ainsi que « la continuité de la rivière est assurée par le rétablissement des possibilités de circulation (montaison et dévalaison) des organismes aquatiques à des échelles spatiales compatibles avec leur cycle de développement et de survie durable dans l'écosystème ». Ces textes réglementaires ont été construits dans l'objectif de permettre à certaines espèces, notamment les espèces amphihalines, d'accomplir la totalité de leur cycle de vie (en eau douce comme en mer) (Encadré 21).

Le choix des obstacles se fait donc dans l'objectif de rétablir la circulation de l'aval vers l'amont en ouvrant dans la mesure du possible un maximum de frayères favorables à la reproduction ou à la croissance de ces espèces. Des opérations réalisées en ce sens dans le Gave de Pau ou dans la Vienne (effacement du barrage de Maison Rouge) ont permis le retour de plusieurs espèces amphihalines, incluant le saumon atlantique.

Encadré 21

Le classement des cours d'eau : rappel historique et réglementation actuelle

Dès 1827, l'article 34 de la loi sur la pêche fluviale indique : « Il est interdit de placer dans les rivières navigables ou flottables, canaux et ruisseaux aucun barrage, appareil ou établissement quelconque de pêcherie ayant pour objet d'empêcher entièrement le passage du poisson ». Cet article s'applique « non seulement aux barrages construits dans le but unique de la pêche mais encore à ceux qui ayant été construits pour une usine servent en même temps pour la pêche ». A cette époque, les poissons constituaient la source essentielle d'alimentation des populations.

Pour permettre à tous l'accès à cette ressource, les autorités avaient alors décidé de favoriser la libre circulation des poissons en introduisant l'obligation d'équiper en échelles à poissons les nouveaux ouvrages sur des cours d'eau dont la liste était fixée par décret. Les premiers décrets de classements au titre des « échelles à poissons » datent des années 1904, 1905 puis des années 20. Cependant, suite aux chocs pétroliers de 1973 et 1979, la France relance le développement de l'hydroélectricité et décide d'alléger les procédures d'exploitation. Néanmoins, afin de préserver certains cours d'eau de la multiplication de barrages nouveaux, elle introduit en même temps un dispositif de classement de cours d'eau appelé « cours d'eau réservés ». Sur ces cours d'eau réservés, aucune nouvelle centrale hydroélectrique ne pouvait être autorisée ou concédée.

En 1984, face au constat du manque d'efficacité de certains dispositifs de franchissement et de l'insuffisance de l'obligation de la loi de 1865 limitée à une obligation de moyen, la loi pêche introduit :

- une obligation de résultats et d'entretien constant, pour les dispositifs de franchissement (passes à poissons, exutoires de dévalaison) ;
- une obligation d'aménagement des ouvrages existants dans les cinq ans après la publication d'un arrêté ministériel fixant les espèces cibles.

Le décret de l'article 6 de la LEMA (2006) et décliné dans l'article L. 214-17 du code de l'environnement (2011) renforce la loi pêche en modifiant le classement des cours d'eau français. Deux catégories sont ainsi créées :

■ le classement en liste 1 (1° du § I de l'article L. 214-17 du code de l'environnement) a pour vocation de protéger certains cours d'eau des dégradations et permet d'afficher un objectif de préservation à long terme. Il correspond à une évolution du classement en « cours d'eau réservés ». Cette liste inclut les rivières considérées en très bon état écologique, les réservoirs biologiques et les rivières à fort enjeu pour les poissons migrateurs amphihalins. La construction d'un nouvel obstacle à la continuité écologique, quel qu'en soit l'usage, est interdit sur les rivières ainsi classées ;
■ la liste 2 (2° du §1 de l'article L. 214-17 du code de l'environnement), dérivée de la notion de « rivières classées » au titre du L. 432-6 du code de l'environnement, doit permettre d'assurer rapidement la compatibilité des ouvrages existants avec les objectifs de continuité écologique. Elle implique une obligation d'assurer le transport des sédiments et la circulation des poissons migrateurs, amphihalins ou non (équipement, gestion régulière des vannes, etc.).

Dans une démarche d'adaptation au changement climatique, les plans d'action visant la restauration de la continuité écologique diffèrent sensiblement de ceux actuellement mis en œuvre au travers du classement des cours d'eau (Encadré 21). En effet, alors que les mesures mises en œuvre dans ce cadre tendent à favoriser les espèces amphihalines (ouverture des cours d'eau de l'estuaire aux zones de frayères), les actions à appliquer dans un contexte de changement climatique consistent à donner la possibilité aux espèces holobiotiques (espèces aquatiques effectuant l'ensemble de leur cycle de vie en eau douce) de rejoindre des habitats qui leur seraient thermiquement et hydrologiquement plus favorables, le plus souvent vers l'amont. Et nombre de ces espèces occupent des zones peu ou pas colonisées par les amphihalins. Ainsi, les espèces les plus vulnérables à une élévation de la température de l'eau étant principalement situées dans les domaines intermédiaires et amont (voir chapitres 2 et 3), le choix des obstacles à ouvrir devrait donc considérer également les tronçons situés dans ces zones (mais encadré 22). Des initiatives ont d'ores et déjà été lancées dans certaines zones. C'est par exemple le cas du parc naturel régional du Morvan où certains cours d'eau étaient devenus peu propices au maintien des populations de poissons du domaine amont (truite, chabot, vairon, etc., LIFE « Têtes de bassins et faune patrimoniale associée », Baran et Milley 2007).

Encadré 22

Restauration de la continuité écologique et invasions biologiques

Les risques d'invasion par les espèces exotiques considérées comme envahissantes, tels que le poisson-chat (*Ameiurus melas Rafinesque*), la perche-soleil (*Lepomis gibbosus*), le pseudorasbora (*Pseudorabora parva*) ou encore les gobies ponto-caspiens (Manné *et al.* 2013) sont fréquemment invoqués lorsque des actions en faveur du rétablissement de la continuité écologique sont mises en œuvre. En effet, la combinaison du changement climatique, à travers l'augmentation des températures de l'eau et du rétablissement de la circulation le long des cours d'eau pourrait favoriser leur extension. Ce scénario n'est cependant pas applicable à l'ensemble des espèces exotiques car des conditions autres que celles associées à la thermie de l'eau pourraient limiter leur migration (hydrologie, productivité). C'est par exemple le cas du silure ou de la perche soleil.
Néanmoins, les risques d'invasion sont probables notamment grâce aux retenues, étangs et autre chenalisation. Diverses actions peuvent être envisagées pour limiter les risques. La restauration des habitats pourraient à terme favoriser la diversité des milieux et des espèces (natives) constituant un frein aux invasions (Tilman 1999, Fargione *et al.* 2003, Xu *et al.* 2004). En outre, une réflexion sur les axes à rouvrir devrait être menée en fonction des enjeux de conservation, certaines espèces exotiques se développant très bien dans les milieux en bon état. Le cas le plus parlant est celui des écrevisses où les exotiques sont porteuses saines d'une pathologie létale aux natives (aphanomycose) provoquant ainsi des extinctions locales indépendamment de la qualité du milieu et du changement climatique. De fait, l'effacement ou l'aménagement d'obstacles isolants des populations d'écrevisses natives de populations invasives devrait être évité.

La migration de ces espèces vers des zones plus favorables était bloquée par la présence d'étangs artificiels qui constituaient un obstacle à leur migration. L'effacement de ces étangs a permis après quelques mois la colonisation par la plupart de ces espèces des zones plus favorables à l'accomplissement de leur cycle de vie (chabot commun, lamproie de planer, vairon) à l'exception de la truite. Dans la vallée du Rhône, où vit l'apron (*Zingel asper*), poisson endémique du Rhône, un premier plan d'équipement d'ouvrages a également été mené afin de favoriser la recolonisation de cette espèce (LIFE APRON - 1999-2001 et 2004-2010).

■ La maîtrise des prélèvements et le respect des régimes hydrologiques

Les peuplements piscicoles sont largement tributaires de l'hydrologie pour leur survie (Figure 51).

Figure 51

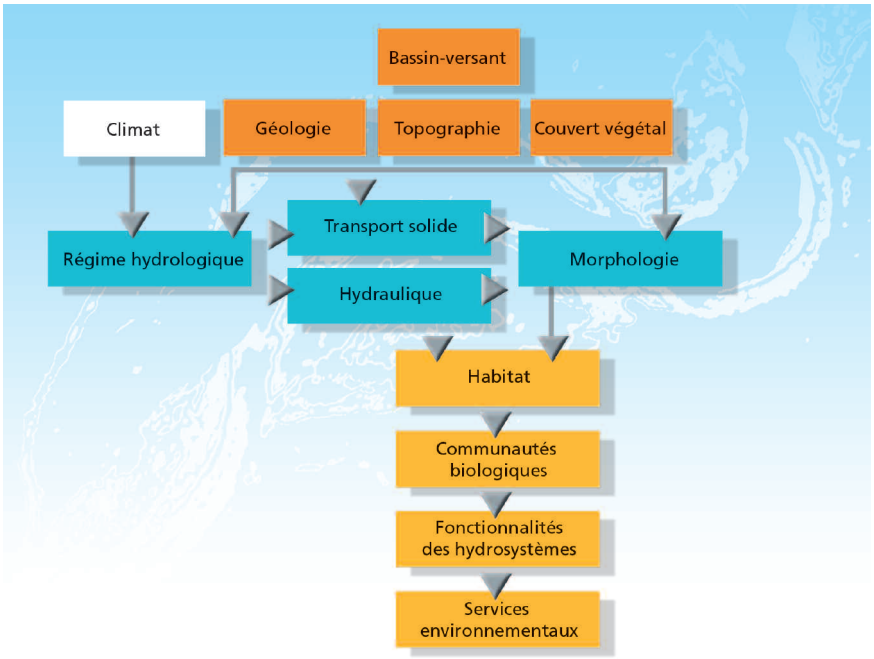


Schéma du fonctionnement physique des hydrosystèmes et son implication vis-à-vis des communautés biologiques (modifié d'après Baran et Leroyer-Gravet 2007).

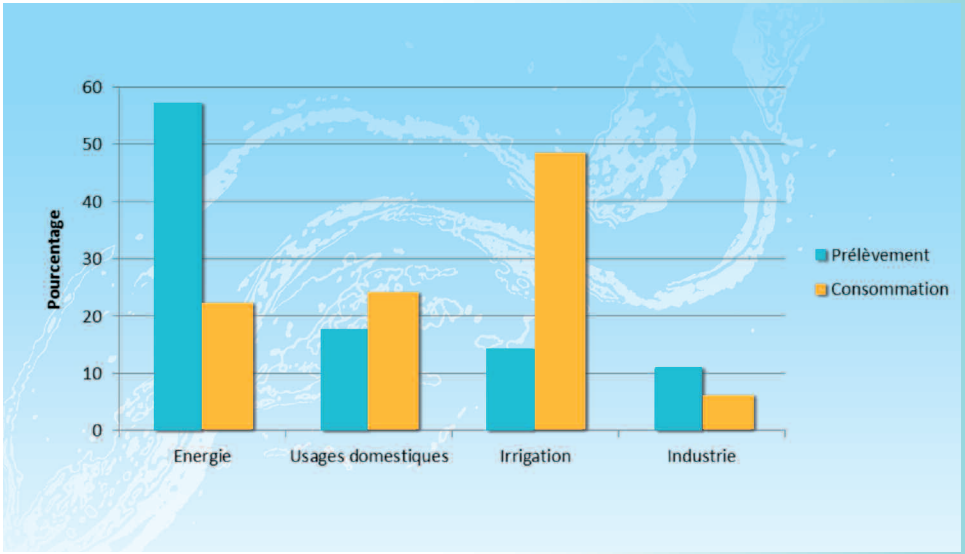
Par exemple, le débit peut modifier directement le lit de la rivière et donc la composition du substrat (implantation de la végétation incluse) et ainsi favoriser (ou non) la reproduction de certaines espèces (par exemple pour le barbeau, l'ablette, le gardon, le rotengle et le hotu dans le Rhône, Cattanéo *et al.* 2001) ou encore fournir des abris pour certaines espèces (par exemple le cas de la prédation des cyprinidés, Schlosser et Ebel 1989). Au-delà de la valeur du débit, il existe d'autres paramètres qui influent sur l'accomplissement du cycle de vie des espèces piscicoles tels que la fréquence, la magnitude et la saisonnalité des débits dans la mesure où toutes n'exploitent pas les mêmes variations hydrologiques (Poff et Ward 1989).

Dans le futur, les modifications du régime hydrologique liées à l'évolution du climat devraient donc affecter fortement mais aussi diversement les poissons (à savoir aggravation des étiages, augmentation des valeurs extrêmes). On peut donc s'attendre à des adaptations (comportementales, physiologiques, etc.) de certaines espèces leur permettant de survivre dans ces nouvelles conditions. L'expansion d'espèces adaptées à ces conditions ou *a contrario*, des extinctions locales pour celles qui ne le seront pas sont également attendues. Ces évolutions réclament le maintien ou le renforcement des capacités de recolonisation et la présence de zones refuges pouvant être obtenues par la rediversification des habitats. Ces effets seront par ailleurs très probablement accentués par l'évolution attendue des prélèvements (Encadré 23). Des mesures permettant de concilier activités anthropiques et préservation des écosystèmes aquatiques doivent donc être mises en œuvre dès à présent pour limiter la vulnérabilité des poissons et de manière générale, des milieux aquatiques.

L'évolution des prélèvements dans les décennies à venir

En 2009, 33,4 milliards de m^3 d'eau étaient prélevés en France métropolitaine pour satisfaire les besoins liés à la production d'eau potable, à l'industrie, à l'irrigation et à la production d'électricité (Dubois 2012). Les volumes prélevés ne sont pas répartis également selon les usages : la production d'électricité (hors hydroélectricité) en génère près des 2/3, loin devant l'eau potable (17 %), l'industrie (10 %) et l'irrigation (9 %) (Figure 52). A noter qu'au moins 90 % des prélèvements pour la production d'électricité est restitué au milieu naturel, à proximité du point de pompage. *A contrario*, on considère que la quasi-totalité de l'eau servant à l'irrigation est consommée, ce qui en fait le premier consommateur.

Figure 52



Comparaison du prélèvement et de la consommation en eau par type d'activité en France en 2001.
Notes : France métropolitaine. Les volumes sont estimés à partir des déclarations des usagers auprès des agences de l'eau pour tous les usages. Pour l'irrigation, les volumes « forfaitaires » des agences de l'eau ont été réévalués entre 2000 et 2004 à partir du recensement agricole 2000 et de la partie des volumes connue par des relevés de compteurs. Avant 2000, les données sont insuffisantes pour réaliser cette évaluation. Au-delà de 2004, la part « forfaitaire » diminuant, ce redressement n'est plus nécessaire.Prélèvement et consommation en eau par usage (hors hydroélectricité) en 2001 (Bommelaer et Devaux 2012).

Ces dix dernières années, la tendance des prélèvements pour ces quatre usages est plutôt à la baisse, notamment dans le cas des prélèvements industriels (apparition de technologies moins coûteuses en eau). Néanmoins dans les décennies à venir, l'évolution des prélèvements restera très dépendante des conditions climatiques, des pratiques de production, notamment agricoles (par exemple remplacement du maïs irrigué par des cultures moins consommatrices en eau) et de l'aménagement du territoire (par exemple concentration urbaine *versus* étalement urbain). Ainsi, si les prélèvements en eau potable devraient diminuer d'environ 32% à l'horizon 2070, les prélèvements d'eau pour l'irrigation devraient largement augmenter si aucune mesure d'adaptation n'est mise en œuvre (entre 40 et 66% d'augmentation selon l'aménagement du territoire – concentration *versus* étalement urbain) (MEDDE/Bipe 2013).

Les premières lois visant à réguler la gestion quantitative de la ressource en eau ont vu le jour dès 1984 avec la loi pêche. Cette dernière visait notamment à fixer des valeurs de débits au niveau des ouvrages (barrages, seuils) situés sur le lit des cours d'eau. Le code de l'environnement dans son article du L 214-18, impose aux ouvrages en cours d'eau le respect d'un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage. La circulaire DGALN/DEB/SDEN/EN4 du 21 octobre 2009 issue de la loi LEMA du 30 décembre 2006 a renforcé cette réglementation en imposant à l'horizon 2014 le relèvement du débit minimal (ou débit réservé) au 1/10ème du module pour l'ensemble des ouvrages[37]. Il est, en outre, maintenant possible de fixer des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année sous réserve cependant que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure au dixième du module, le débit le plus bas devant rester supérieur à la moitié des débits minimaux.

L'évolution des textes de loi concernant le relèvement du débit minimal est un élément important qui permet à l'heure actuelle de limiter certains impacts des prélèvements sur les communautés piscicoles. Dans le futur, des études complémentaires devront être menées afin de définir à l'échelle d'un tronçon ou d'un bassin versant le débit minimum biologique à imposer selon le contexte local (espèces, hydromorphologie, etc .) mais également selon l'évolution des modules sous forçage climatique (Encadré 24). En d'autres mots, le débit imposé devra être défini en fonction des exigences écologiques des milieux et espèces et pas selon un seuil arbitraire. Ces avancées permettront d'améliorer les outils de gestion et la réglementation actuelle mais également de s'extraire d'une logique sectorielle peu compatible avec les enjeux de la gestion de la ressource en eau.

Encadré 24

Comment estimer le débit minimum biologique ?

De nombreuses méthodes, plus ou moins élaborées et validées, existent pour prendre en compte les équilibres biologiques dans la définition des débits d'étiage et/ou des régimes hydrauliques (méthodes holistiques, hydrauliques, des habitats – Tharme 2003). La méthode la plus couramment utilisée en France est la méthode des microhabitats qui permet d'évaluer, en fonction du débit, l'évolution de l'habitat « physique » d'une portion de rivière vis-à-vis de quelques espèces de poissons cible. En d'autres termes, il s'agit d'associer à des caractéristiques physiques (habitat) une réponse biologique (qualité de l'habitat). Cette méthode s'applique au niveau d'une station représentative d'un tronçon de cours d'eau et consiste à coupler une information physique qui décrit l'habitat, et une réponse biologique qui va permettre d'en apprécier la qualité. En France, on compte trois protocoles basés sur cette méthode :

- la méthode historique importée par EDF et le Cemagref (maintenant Irstea) en 1994 (Sabaton 2003), laquelle se base sur des mesures hydrauliques (profondeur, vitesse, granulométrie) réelles relevées à différents débits lâchés (application dans le cas de cours d'eau régulés). Cette méthode est implémentée dans le logiciel Lammi (Tissot *et al.* 2011) ;
- le protocole EVHA (1998), développé par le Cemagref/Irstea, diffère du premier par la prise des paramètres hydrauliques à un seul débit et la description topographique de la station. Un modèle hydraulique permet ensuite de calculer les hauteurs d'eau et les vitesses de courant à différents débits ;
- le protocole Estimhab développé par le Cemagref/Irstea (Lamouroux 2002), fait partie des modèles d'habitat statistiques qui permettent d'estimer l'impact écologique de la gestion hydraulique des cours d'eau. Ces modèles utilisent des variables d'entrée simplifiées, à savoir des mesures de largeur, de hauteur d'eau et de taille du substrat dominant réalisées à deux débits différents, pour retracer l'évolution de l'habitat pour une espèce donnée en fonction du débit.

37- Cette loi ne s'applique pas aux ouvrages situés sur un cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe de consommation. Dans ces deux cas particuliers, le débit minimal a été fixé au 1/20ème du module.

Ces méthodes présentent de nombreuses limites. Par exemple, du fait de leur complexité, elles imposent à l'utilisateur une formation préalable afin de pouvoir être capable de les appliquer et pour bien maîtriser les subtilités des modèles au moment de l'interprétation. Par ailleurs, aucune ne parvient à prendre en compte l'ensemble des facteurs influençant l'estimation d'un débit biologique. Enfin, il ne faut pas attendre de ces méthodes de donner « la » valeur de débit minimum biologique ; il s'agit plutôt d'étudier la perte ou le gain d'habitat à différents débits. Il est donc souvent conseillé de coupler l'utilisation d'une méthode avec une autre pour une estimation la plus fine possible de ce débit minimum.

Les prélèvements par pompage, hors ouvrage de stockage/dérivation (Encadré 25), et destinés à l'approvisionnement en eau potable, à l'irrigation, à l'industrie ne sont pour l'instant pas soumis à cette même réglementation. Jusqu'à maintenant les prélèvements étaient généralement limités en période estivale uniquement par des « arrêtés sécheresse ». Récemment, cette réglementation a évolué afin de réserver ces arrêtés pour des situations réellement exceptionnelles, les prélèvements dans les zones à déficit quantitatif étant désormais ajustés sur la base de deux indicateurs[38] :

- les débits objectifs d'étiage (DOE), établis sur la base des moyennes mensuelles, pour lesquels sont simultanément satisfaits le bon état des eaux, et, en moyenne huit années sur dix, l'ensemble des usages. Le DOE est le plus souvent proche du QMNA5 (voir définition chapitre 1) ;
- les piézométries objectifs d'étiage (POE) lorsqu'elles existent.

Tout comme pour les débits réservés, l'évolution de cette règlementation est en faveur de la préservation des milieux. Dans le futur, l'ajustement de ces indicateurs selon le débit minimum biologique sera une avancée majeure car outre le fait de réguler de manière fine et localisée les prélèvements dans l'objectif de concilier usages et milieux naturels, ces indicateurs devraient permettre d'objectiver les décisions en période de crise. Certaines régions ont d'ores et déjà commencé à mettre en place ces débits objectifs d'étiage prenant en compte la biologie des espèces, notamment dans le bassin Rhône-Méditerranée.

Enfin, les mesures préconisées par le PNACC[39] et visant à réduire de 20 % les quantités d'eau prélevées d'ici 2020 sont également essentielles et devront être renforcées dans l'avenir dans un contexte de raréfaction de la ressource. La constitution d'organismes de gestion collective actuellement en cours pourrait favoriser la prise de conscience que cette ressource doit être partagée et gérée de manière collective entre usagers.

Retenues collinaires : une fausse bonne idée ?

Afin de répondre aux besoins en eau des terres agricoles en période estivale tout en évitant de pomper directement dans les cours d'eau, il est souvent question de « retenues collinaires » utilisées comme « retenues de substitution ».

En théorie, une retenue collinaire est un petit plan d'eau artificiel mis en place sur un terrain imperméable et captant les eaux pluviales. Toutefois, certains utilisent le terme collinaire quel que soit le mode d'alimentation (Chalabert 2013). En effet, la retenue est souvent érigée sur (ou en dérivation de) un très petit cours d'eau permanent ou temporaire, ou alimentée par une source. Par exemple, sur les terrains perméables principalement en Vendée et en Poitou-Charentes, les retenues sont situées hors lit mineur, isolées des milieux naturels et alimentées par pompage en provenance d'un cours d'eau ou d'une nappe (Secrétariat technique du bassin Loire-Bretagne 2011, FNE 2011).

38- Mentionnons également les débits de crise renforcée (DCR) en-dessous desquels les prélèvements pour l'AEP, la sécurité des installations sensibles et les besoins des milieux naturels ne peuvent être satisfaits.
39- En cours de traduction dans les SDAGE.

Figure 53

© Y. Baradeau - Onema

Suite encadré 25

Les retenues de substitution hors lit mineur sont souvent considérées comme des solutions permettant de répondre aux usages agricoles tout en limitant leurs impacts en période estivale. Comme pour tout aménagement, il est nécessaire d'en évaluer les conséquences effectives sur l'hydrologie et les milieux aquatiques.

Une retenue de substitution se définit par son usage, à savoir le stockage de l'eau en période de hautes eaux en vue de se substituer à un prélèvement direct dans le lit mineur d'un cours d'eau durant l'étiage. Une retenue collinaire peut donc être utilisée comme une retenue de substitution.

Ces différents types de stockages d'eau ne sont pas sans impact sur l'environnement mais la nature et l'importance de ces derniers va dépendre notamment de la localisation du plan d'eau par rapport au lit mineur. Ainsi dès lors que la retenue se situera sur un cours d'eau, il peut y avoir une modification du régime thermique à l'aval, une dégradation de la qualité physicochimique, une modification du transit sédimentaire, une perte d'habitat lotique, une perte de la capacité d'autoépuration, une rupture de la continuité écologique… Ces effets sont en général bien connus.

Les retenues localisées en dehors du lit mineur et alimentées par les eaux de ruissellement ou par pompage hivernal sembleraient moins néfastes pour les milieux aquatiques. Néanmoins, si les impacts sur l'hydrologie du bassin versant de la multiplication de ces retenues ont été peu investigués, quelques études montrent pourtant que l'impact cumulé est loin d'être négligeable, en particulier lors du premier mois de remplissage. Ainsi, le remplissage hivernal peut entrainer une diminution allant jusqu'à 50% des débits hivernaux (Galea *et al.* 2005, Philippe *et al.* 2012). Cet impact est relativement variable d'un bassin à l'autre : plus le débit spécifique d'un bassin est faible, plus l'impact est important (Philippe *et al.* 2012). Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les enjeux en termes de gestion quantitative ne se situent donc pas uniquement au niveau des étiages : la modification des régimes de débits (alternances crue – étiage) liée au stockage hivernal influence le transport solide et donc les habitats aquatiques et les biocénoses associées. Ainsi, l'eau transportée au moment des crues ne doit pas être vue uniquement comme une ressource excédentaire mais comme un paramètre essentiel à la vie des cours d'eau. La création de nouvelles retenues de substitution doit prendre en compte ces impacts potentiels.

Par ailleurs, il faut veiller à ne pas augmenter la dépendance à l'irrigation des exploitations agricoles dans des régions où le changement climatique risque d'accentuer l'impact cumulé de ces petites retenues sur les débits, voire compromettre leur remplissage. Une projection basée sur trois scénarios d'évolution climatique (augmentation thermique et concernant les précipitations, baisse globale, baisse globale mais augmentation en hiver et augmentation globale sur le bassin) montre que, quel que soit le scénario, la présence de retenues collinaires aggrave la diminution des débits mensuels et de crues sur la période de remplissage. Le remplissage des retenues serait aussi beaucoup moins efficace (remplissage inférieur à 90% une année sur deux en 2050, Philippe *et al.* 2012).

Au préalable de la construction d'une retenue de substitution, il apparait donc essentiel de démontrer clairement la compatibilité avec la préservation des écosystèmes et/ou d'autres usages de l'eau comme l'alimentation en eau potable dans le climat actuel et sous changement climatique.

■ Maintien et restauration de la qualité de l'eau

Comme mentionné dans les chapitres précédents, l'effet des interactions entre le changement climatique et le stress chimique causé par certains polluants aquatiques potentiellement toxiques (Wenning *et al.* 2010) est susceptible de provoquer des dysfonctionnements au sein des écosystèmes aquatiques (Schwarzenbach *et al.* 2006).

A l'heure actuelle, plus de 100 000 substances chimiques sont enregistrées sur le marché communautaire, dont 30 000 sont utilisées, importées ou produites à plus d'une tonne par an. Nombre d'entre elles se retrouvent dans les milieux aquatiques où elles sont susceptibles d'avoir un effet toxique à de très faibles concentrations (de l'ordre du microgramme par litre) et d'altérer de façon directe et indirecte l'état de santé des écosystèmes. Par ailleurs, bien qu'en diminution depuis ces trente dernières années, la pollution organique est encore bien présente dans certains contextes, notamment agricole, sous la forme d'eutrophisation. Ainsi 21% des rivières et 40% des nappes souterraines sont en mauvais état chimique sur les paramètres de la DCE. Ces impacts écologiques (et les risques associés pour la santé humaine) font l'objet d'une prise en conscience croissante depuis les années 1970, qui s'est traduite dans les politiques publiques par l'adoption d'un cadre réglementaire de plus en plus contraignant :

■ à l'image de l'emblématique directive 91/414/CE sur les pesticides, de nombreux textes réglementaires, mis en application à travers la directive 76/769/CE relative à la « mise sur le marché et l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses » (abrogée et remplacée par le règlement REACH - règlement CE n°1907/2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des produits chimiques), ont restreint l'utilisation de substances toxiques à des secteurs d'activité, des conditions d'utilisations ou des produits particuliers ;

■ l'État français a considérablement investi depuis 20 ans pour assurer la mise en conformité de l'assainissement des collectivités et ainsi améliorer la qualité des milieux aquatiques et respecter la directive européenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (DERU). Les niveaux de traitement requis sont fixés en fonction de la taille des agglomérations d'assainissement et de la sensibilité du milieu récepteur du rejet final. Ces obligations sont actuellement inscrites dans le code général des collectivités territoriales et dans l'arrêté du 22 juin 2007, relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement, actuellement en cours de révision ;

■ les activités industrielles et agricoles avec un fort potentiel de pollution sont soumises à autorisation (directive 2008/1/CE). Cette directive met en place des exigences minimales à inclure dans toute autorisation, notamment en termes de rejets de substances polluantes. L'objectif est d'éviter ou de minimiser les émissions polluantes dans l'atmosphère, les eaux, et les sols ainsi que les déchets provenant d'installations industrielles et agricoles ;

■ en 2000, la DCE a repris à son compte la philosophie de la directive 76/464/CE, en y ajoutant une dimension de surveillance des milieux avec notamment des normes de qualité environnementale (NQE) explicitement définies pour l'eau et le biote (cf. directive-fille 2008/105/CE amendée par la directive 2013/39/CE). Rappelons que la DCE, qui concerne tous les milieux aquatiques dont les eaux côtières et les eaux de transition, impose notamment de préserver les milieux aquatiques non dégradés (milieux de référence) et d'atteindre d'ici 2015 le « bon état » des eaux pour les milieux moyennement ou fortement dégradés – ce « bon état » englobant l'état écologique et l'état chimique d'une masse d'eau.

Différents plans d'action ont été lancés ces dernières années afin de répondre à ces contraintes règlementaires. Un premier plan national d'action assainissement a été lancé en 2007 pour assurer la mise en conformité des réseaux et stations de traitement des eaux usées aux obligations de la directive eaux résiduaires urbaines. Un nouveau plan d'action 2012 – 2018 vise notamment à mettre en conformité les collectivités au titre des nouvelles obligations communautaires fixant des objectifs de qualité des milieux ou des usages de l'eau (DCE, directive eaux de baignade, directive eaux conchylicoles, directive cadre stratégie pour le milieu marin) avec une attention particulière sur l'amélioration du traitement des eaux usées des petites collectivités (moins de 2 000 équivalent-habitants) et sur la collecte par temps de pluie. Ce plan a également pour ambition d'intégrer l'assainissement dans une logique de développement durable en tenant compte des enjeux du changement climatique.

Concernant les micropolluants, un plan national d'action a été lancé pour la période 2010-2013. Il se décline en trois axes :

- réduire les émissions à la source en agissant à la fois directement sur les substances les plus préoccupantes, sur les secteurs d'activité les plus contributeurs mais aussi sur les milieux les plus dégradés. Il s'agit donc d'une approche globale, en agissant sur l'ensemble du cycle de vie des micropolluants, et en privilégiant les logiques préventives aux logiques curatives, notamment au niveau de la mise sur le marché ;
- améliorer la connaissance de l'état des masses d'eau dans le cadre du SDAGE en réalisant, entre autres, un inventaires des émissions et rejets des substances définissant l'état chimique selon la DCE ou encore en définissant des règles claires d'interprétation des résultats de la surveillance utilisables par l'ensemble des acteurs ;
- améliorer les connaissances scientifiques et techniques pour identifier les marges de progrès et hiérarchiser l'action des pouvoirs publics avec, par exemple, l'acquisition et la validation des résultats sur le terrain en suivant quelques zones ateliers.

En matière d'assainissement certaines solutions techniques sont actuellement étudiées. Par exemple, les zones de rejet végétalisés, situées entre la station de traitement des eaux usées (STEU) et le milieu récepteur, pourraient dans certains cas permettre d'atténuer les impacts des rejets à travers notamment une réduction des volumes et des flux de polluants rejetés ou une meilleure protection des berges. Toutefois, les retours d'expérience sont insuffisants pour quantifier les performances en termes d'atténuation des rejets. C'est pourquoi l'Onema, en partenariat avec l'Irstea, soutient un important programme de recherche sur le fonctionnement des zones de rejet végétalisées (Figure 54). En parallèle des efforts entrepris pour réduire les émissions à la source, l'amélioration des performances des STEU vis-à-vis des micropolluants constitue un levier important pour préserver les milieux aquatiques. Le projet ARMISTIQ (2010-2013), financé par l'Onema et piloté par l'Irstea en collaboration avec Suez Environnement et l'université de Bordeaux, a permis de réaliser des évaluations techniques et économiques aussi bien des filières de traitement classique que des filières plus récentes et peu répandues en France (http://armistiq.irstea.fr). Par ailleurs, l'amélioration des connaissances et des pratiques en termes de gestion des rejets urbains de temps de pluie est un sujet d'importance croissante tant pour limiter les impacts sur les milieux que pour prévenir les inondations.

Figure 54

© C. Lacour - Onema

Zone de rejet végétalisée de Marguerittes (Gard) qui fait l'objet d'un programme de recherche coordonné par Irstea et financé par l'Onema.

D'autres solutions techniques permettant de diminuer l'impact des rejets agricoles existent telles que le maintien ou l'extension des bandes enherbées en zones cultivées, etc. Enfin, une des solutions les plus intégratrices pour retrouver ou conserver une qualité de l'eau compatible avec les enjeux de biodiversité et d'eau potable est probablement la restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau. Il a en effet été démontré que

la diversification des faciès d'écoulement, le méandrage et la présence d'une ripisylve favorisaient leur capacité autoépuratrice, notamment vis-à-vis des nutriments tels que le phosphore et l'azote (Nicolas *et al.* 2012). Cette logique s'applique aussi aux zones humides.

A terme, la mise en œuvre de ces différents textes, plans et solutions techniques devrait permettre peu à peu de protéger l'ensemble des milieux participant au cycle global de l'eau. Les risques de pollution devraient donc s'amoindrir dans le futur.

■ Maîtrise du réchauffement anthropique des eaux

,Le réchauffement des eaux est inéluctable dans le cadre du changement climatique annoncé. Toute mesure susceptible de limiter un échauffement supplémentaire serait donc bénéfique dans la perspective de limiter la vulnérabilité des poissons.

Les ripisylves, notamment lorsqu'elles sont arborées (Figure 55), jouent un rôle important dans la régulation du régime thermique des petits cours d'eau en limitant l'augmentation de la température en surface (par exemple, Johnson 2004, Durlet 2009, Larson 1996, Rapport Clim-arbres 2012). Une étude réalisée en Suisse sur le ruisseau de Boiron de Morges a par exemple démontré que la présence de la forêt sur l'ensemble d'un tronçon induirait une diminution de température au plus de 3,3°C par rapport à une situation entièrement ouverte (Rapport Clim-arbres 2012). Les macrophytes joueraient également un rôle non négligeable avec une diminution de 1°C (Rapport Clim-arbres 2012).

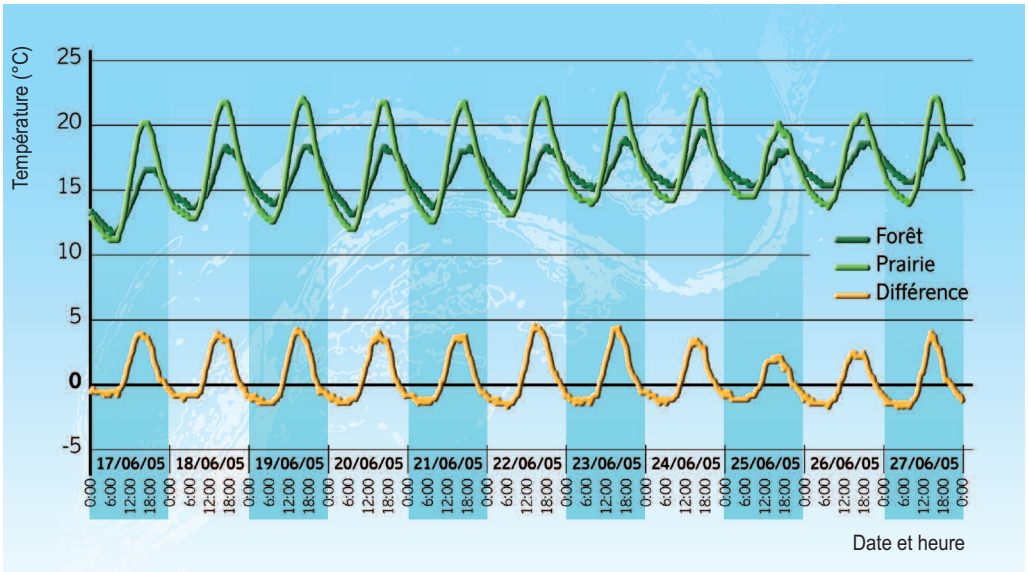
Figure 55

© N. Poulet - Onema

La ripisylve en apportant de l'ombrage joue un rôle important sur le régime thermique des cours d'eau.

Des résultats similaires ont été observés dans le cas du ruisseau de Vaucorniau (Nièvre) avec des différences allant de 0 à 5°C entre une situation arborée et une situation prairiale (Durlet 2009, Figure 56). Le maintien, l'entretien et la restauration de ces zones pourraient donc dans le cas de certains cours d'eau être un élément déterminant pour lutter contre le réchauffement. Actuellement, la DCE n'impose pas d'objectif précis en termes de qualité physique des berges et des cours d'eau. Néanmoins, les fonctions de ces milieux sont à l'heure actuelle soulignées par l'ensemble des professionnels du domaine et de fait la majorité des SAGE et plans de gestion intègrent des programmes d'action visant à restaurer la ripisylve et entretenir les berges (maintien d'une bande boisée naturelle entre milieu agricole et berge du cours d'eau, limitation de l'abroutissement par le bétail par mise en défend ou mise en place de corsets métalliques autour des arbustes de la zone afin de laisser s'installer une ripisylve arborée, plantations ou bouturage d'essences situées dans la zone d'intérêt, etc.).

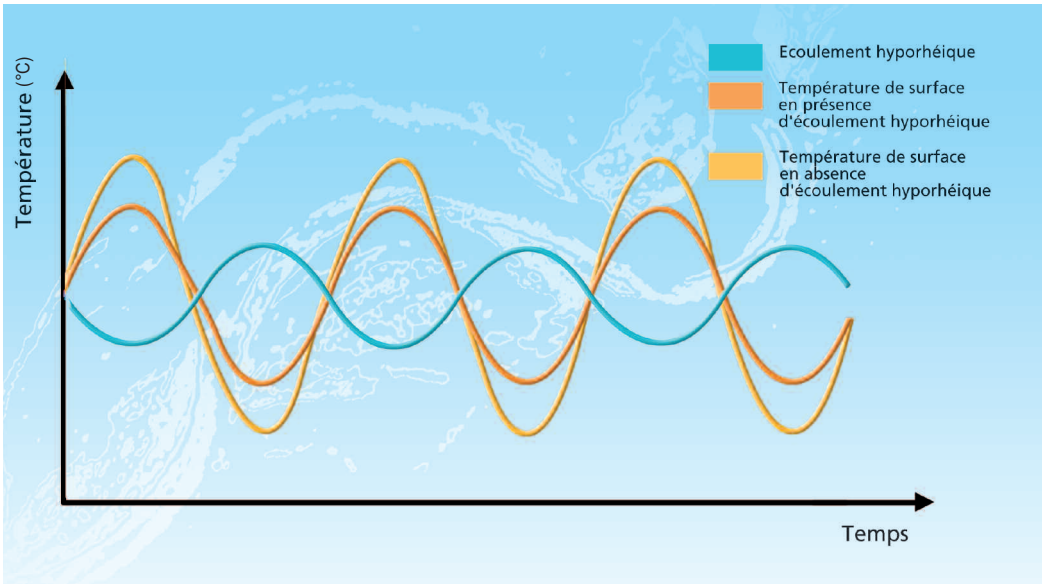
Figure 56



Comparaison des caractéristiques thermiques du ruisseau des stations boisée et prairiale du ruisseau de Vaucorniau. Une mesure toutes les trente minutes du 09 juin au 10 août 2005. L'absence d'ombrage dans la partie prairiale entraîne une forte augmentation des températures maximales et de l'amplitude thermique du ruisseau (Durlet 2009).

La préservation de l'ensemble des fonctionnalités hydromorphologiques naturelles des cours d'eau permettraient également de limiter l'échauffement de l'eau et/ou maintenir un taux d'oxygène dissous optimal. Des études récentes ont par exemple démontré que les écoulements hyporhéiques régulaient de manière importante le régime thermique des rivières (Figure 57). De manière analogue, des opérations de réméandrage d'un cours d'eau situé au sein de la réserve naturelle du lac de Remoray (Doubs) ont permis le relèvement de la nappe et une réduction des températures estivales maximales de l'ordre de 1 à 3°C (Agence de l'eau RMC 2006). La recharge en granulat et les opérations de reméandrage semblent donc constituer des mesures efficaces pour limiter l'échauffement des eaux tout comme les actions visant à limiter le colmatage des cours d'eau et à améliorer le transport sédimentaire.

Figure 57

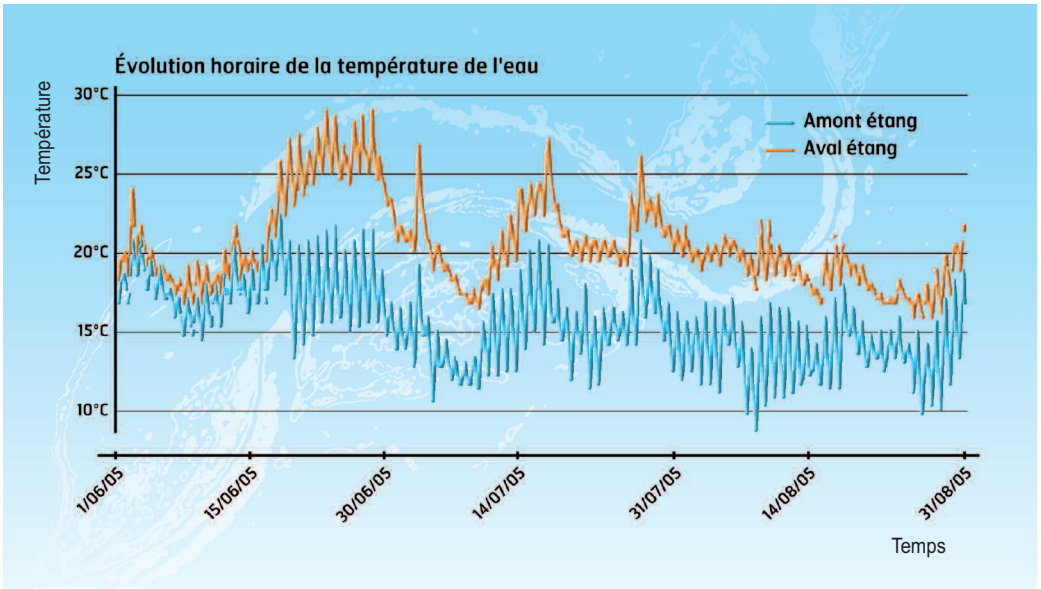


Impact théorique des écoulements hyporhéiques sur la température de l'eau des rivières. En jaune, température de surface en absence d'écoulement hyporhéique, en bleu la température de l'eau hyporhéique, en orange la température de surface en présence d'écoulement hyporhéique (Grant et al. 2006).

La réglementation impose aux ouvrages existants des modalités de gestion, en particulier d'ouverture régulière de vannes, pour améliorer le transport naturel des sédiments et assurer la continuité écologique (voir section précédente). En outre, toujours dans ce cadre réglementaire, le propriétaire doit satisfaire à son obligation d'assurer l'écoulement naturel des eaux en entretenant régulièrement la retenue (enlèvement des embâcles, débris et atterrissements). Ces différentes mesures devraient à terme améliorer l'hydromorphologie des cours d'eau et ainsi réduire l'échauffement des eaux. Notons que la recharge en granulat pourrait accentuer ces effets positifs. Enfin, une modification des pratiques agricoles dans l'objectif de limiter l'érosion des sols contribuerait également à réduire les problèmes de colmatage des fonds par les sédiments fins (argiles, limons, sables fins).

La déconnexion ou même l'effacement d'étangs en série au sein d'un même réseau hydrographique constituent également un moyen permettant de limiter l'échauffement de l'eau. En effet, il a été montré à maintes reprises que la multiplication des étangs situés le long d'un cours d'eau avait pour effet un réchauffement important de l'eau car la couche superficielle de l'étang offre une surface de contact avec l'atmosphère beaucoup plus importante qu'au niveau du ruisseau (Durlet 2009). En aval des étangs situés sur le cours d'eau du Cousin dans le parc régional du Morvan, des mesures ont par exemple montré que les eaux se réchauffaient de manière très significative (+4,5°C) et dépassaient les valeurs tolérables pour la truite ou le chabot (Baran 2005, Figure 58).

Figure 58



Evolution horaire de la température de l'eau en amont et en aval de l'étang de Champeau. Données 2005. Caractéristiques de l'étang : 30 hectares, 850 m de long, 550 m d'altitude, 3 m de profondeur maximum. Temps de séjour de l'eau en période estivale : environ 24h (Durlet 2009).

Des faits similaires ont été répertoriés dans le cas du cours d'eau l'Arroux en Saône et Loire (Karamalengos 2009) et de manière générale en Brenne et en Sologne. A l'heure actuelle, certains contrats d'étangs ou de rivière mettent en avant ces effets délétères et proposent des actions visant à interdire ou réduire la construction d'étangs directement sur le réseau hydrographique. Ces actions devront être accentuées à l'avenir dans un contexte de réchauffement global des eaux.

La maîtrise des prélèvements dans les cours d'eau constitue un autre moyen pour limiter l'échauffement des eaux. En effet, l'incidence de l'hydrologie sur le réchauffement des eaux est importante : en diminuant le débit, le rapport entre la surface de contact à l'air et le volume d'eau qui transite dans une section de cours d'eau augmente favorisant ainsi un réchauffement de l'eau. Les phénomènes en jeu sont encore plus complexes pour les amphihalins dans la mesure où le changement climatique agit aussi sur les océans. Ainsi, les modèles projettent que l'interaction entre la baisse de la survie marine et l'augmentation de l'amplitude hydrologique des cours d'eau augmenterait les probabilités d'extinctions locales ; cet effet serait néanmoins atténué par

l'augmentation de la température des cours d'eau, au moins dans un premier temps (à l'horizon des trois prochaines décennies, Piou et Prévost 2013). Ainsi, outre la diminution directement imputable au changement climatique, il sera donc nécessaire de maîtriser les prélèvements dans les cours d'eau (voir section précédente).

Enfin, un dernier niveau d'action concerne le renforcement de la réglementation visant à éviter le réchauffement des eaux issues (1) des circuits de refroidissement des centrales nucléaires, (2) des rejets industriels et (3) urbains ou encore (4) provenant des retenues en période estivale (Encadré 26). L'encadrement de ces rejets doit donc se poursuivre : température maximale, débit maximal, période de l'année autorisée, etc. Actuellement les rejets thermiques sont réglementés par la directive européenne sur la qualité des eaux piscicoles (1978) qui limite l'élévation de la température à 3°C pour les eaux cyprinicoles, et 1,5°C pour les eaux salmonicoles, avec des possibilités de dérogations selon la législation française. A noter que la limite absolue est par ailleurs égale à 28°C. Cette directive sera bientôt abrogée et remplacée par la DCE.

Encadré 26

Sortie hypolimnique au niveau des barrages : une action permettant de réduire la température en aval ?

Dans certains cas, la présence de barrage lorsqu'ils sont munis d'une sortie hypolimnique[40] réduit la température du cours d'eau situé en aval du fait d'un phénomène de stratification-destratification au niveau de la retenue d'eau. Ce phénomène est par exemple observé sur la Dordogne, la Maronne ou encore sur la Cère. Les eaux turbinées, issues des lacs de retenue associés à ces aménagements présentent une température plus faible qu'en amont. Par exemple, sans l'influence des retenues amont sur la Dordogne, la température de l'eau en aval serait supérieure de 4°C comparativement à ce qui est observé actuellement (Lascaux et Cazeneuve 2008). Toutefois, sur certains cours d'eau, comme par exemple l'Yonne en aval du barrage de Pannecière, les modifications du régime thermique (températures printanières trop froides) empêchent la reproduction des espèces naturellement présentes. En outre, et bien que cela corresponde aux exigences de la truite, la reproduction de celle-ci se trouve perturbée par les modifications hydrologiques induites par le barrage (Lascaux *et al.* 2001). Les impacts associés aux retenues artificielles (obstacles à la migration, destruction des zones lotiques, modifications de la qualité de l'eau, obstruction au transit sédimentaire, etc.) ne permettent pas d'en faire des outils de remédiation thermique.

Les éléments présentés ci-dessus montrent que les actions permettant de limiter le réchauffement des eaux sont nombreuses et pour la plupart, d'ores et déjà préconisées dans le cadre de la réglementation actuelle. Les prochaines étapes passent par un renforcement de ces mesures et par la prise de conscience qu'elles sont indispensables à la réduction de la vulnérabilité des espèces aquatiques sous forçage climatique. Le maintien et même l'extension du réseau de surveillance étendu de la température de l'eau mis en place par l'Onema en 2008 (Réseau national de température – RNT) seront un outil précieux pour suivre l'évolution de la thermie des cours d'eau français ainsi que l'efficacité des mesures mises en œuvre.

40- L'eau provient d'une couche profonde de la retenue. En été, elle est ainsi plus froide qu'en surface. Le processus s'inverse durant l'hiver.

Conclusions et perspectives

L'adaptation au changement climatique est un processus complexe déjà bien amorcé en France. Le Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) a donné une nouvelle impulsion en 2011, en rassemblant les initiatives des acteurs et en s'appuyant sur des mécanismes incitatifs et réglementaires (SRCAE, PCET, SDAGE, SRCE, etc.). Dans le domaine de l'eau, aucune obligation réglementaire spécifique toutefois n'a été formulée. Néanmoins, les éléments présentés dans ce chapitre montrent que les actions actuellement mises en œuvre en application de la DCE constituent un formidable levier pour réduire la vulnérabilité des populations de poisson dans un contexte de changement climatique.

En effet, le relèvement des débits réservés, la mise en place de débits objectifs d'étiage adaptés ou encore la mise en œuvre d'actions visant à réduire la consommation en eau comme prévu par le PNACC constituent des avancées majeures en termes de gestion quantitative de la ressource en eau.

Le rétablissement de la continuité écologique, si appliqué de manière globale à l'ensemble des organismes holobiotiques et amphihalins, permettra aux espèces d'atteindre des zones qui leur seraient plus favorables dans l'avenir dans la mesure où les conditions d'habitat (hydrologie, physicochimie...) leur soient encore propices.

De fait, cela doit impérativement s'accompagner de l'amélioration (ou de la non dégradation) des milieux aquatiques et pour ce faire il apparait essentiel d'assurer une hydrologie et une morphologie des cours d'eau diversifiées, gages de maîtrise de la qualité de l'eau et du régime thermique, de la dispersion des organismes aquatiques et de leur survie dans un environnement changeant.

Evidemment, et contrairement aux visions « sanctuaristes », il faudra nécessairement accepter dans l'avenir que certaines espèces natives, dorénavant inadaptées aux nouvelles conditions climatiques, quittent leurs aires de répartition historique et que les écosystèmes d'une zone donnée évoluent dans leur composition et dans leur fonctionnement (Dutartre et Suffran 2011).

Cependant, et ce en dépit des incertitudes entourant les projections climatiques et hydrologiques, le changement climatique doit être considéré comme un argument supplémentaire pour entreprendre et mettre en œuvre les mesures d'atténuation des pressions favorisant la résilience et l'adaptation des milieux et des organismes.

Le financement de programmes de recherche permettra par ailleurs d'approfondir des points essentiels incluant par exemple l'amélioration des connaissances sur les *preferenda* thermiques et/ou hydromorphologiques des poissons, sur leur déplacement le long des réseaux hydrographiques, ou encore sur leur capacité d'adaptation ou d'acclimatation. L'impact relatif des pressions anthropiques *versus* forçage climatique, les liens entre qualité de l'eau, thermie et populations de poissons sont également des questions qui requerront l'attention des chercheurs. De façon plus prospective, il apparaît nécessaire de tester par simulation les réponses des populations et peuplements à de nouvelles stratégies de gestion qui viseraient à favoriser l'adaptation des espèces aquatiques au changement climatique. Ces nouvelles stratégies pourraient emprunter une voie de

sélection sur des traits ayant une valeur adaptative pour accélérer l'adaptation, ou bien favoriser la biodiversité pour favoriser la résilience *via* une approche de répartition du risque. Enfin si les modèles de répartition devront être affinés afin de permettre la valorisation de ces outils à des échelles moindres (par exemple échelle du bassin versant), des modèles plus centrés sur les processus populationnels et évolutifs (modèles « démogénétiques ») devront aussi être développés afin de pallier les limites des modèles de répartition.

Pour finir, le maintien et le développement des observatoires et réseaux de mesure constitueront un élément clé pour suivre à la fois l'ampleur des changements mais également l'efficacité des mesures mises en œuvre. Ainsi, d'une part, il importe de poursuivre et d'amplifier dès aujourd'hui les actions de toute nature permettant de restaurer et préserver le bon fonctionnement des milieux aquatiques. Leur bonne santé leur permettra d'être plus résilients aux évolutions liées au changement climatique et donc de réduire la vulnérabilité des espèces. D'autre part, la poursuite d'acquisition de données et de travaux de recherche adéquats doit permettre à moyen terme de mieux comprendre les phénomènes en cause et de mieux y faire face. Les deux approches sont essentielles car complémentaires.