

Résumé

Contexte, enjeux et démarches de l'expertise

■ Un cadre réglementaire interrogeant les connaissances et méthodes mobilisables

L'application de la réforme des volumes prélevables, issue de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006, peut permettre de créer de nouvelles infrastructures de stockage d'eau, ou retenues, sur certains bassins versants, en complément d'une réduction des usages de l'eau. La construction de telles retenues est soumise à déclaration ou autorisation, selon notamment leur taille, la soumission d'un projet devant être accompagnée d'une étude d'impact environnemental. La réforme des études d'impact, mise en place en application de la loi engagement national pour l'environnement (dite « loi Grenelle 2 ») du 12 juillet 2010, implique que les dossiers de construction de nouvelles retenues prennent en compte l'effet cumulé des ouvrages en projet. Par ailleurs, certains schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE) ont pris, en 2016, des dispositions demandant d'évaluer l'effet cumulé des retenues déjà existantes sur un bassin.

Constatant le déficit de connaissances, d'outils et de méthodes auquel se heurtent à la fois les pétitionnaires et les services de l'État pour réaliser cette évaluation des effets cumulés des retenues, le ministère en charge de l'environnement a souhaité qu'une expertise scientifique soit conduite pour apporter des éléments de méthode permettant d'améliorer, in fine, la qualité des procédures d'instruction des projets et des études d'impact afférentes.

Les principales questions posées sont : comment caractériser les effets à court et long terme d'un ensemble de retenues sur le milieu aquatique ? Quels sont les moyens d'en rendre compte ? Quels sont les autres impacts environnementaux ? Comment comparer, à volume équivalent, les effets de nombreuses petites retenues versus quelques grandes ? Comment évaluer ex ante les effets d'équipements futurs ? Peut-on mettre en évidence des effets seuil dans le fonctionnement hydroécologique du bassin versant ainsi modifié ?

■ Une approche pluridisciplinaire

En stockant et détournant de l'eau, en inondant des sols et de la végétation, les retenues influencent directement les régimes d'écoulement de l'eau, le transfert de sédiments, de nutriments, de contaminants et modifient le fonctionnement écologique du milieu aquatique, la continuité des cours d'eau et les habitats des organismes qui y vivent. Les effets des retenues doivent donc être examinés sous l'angle de différentes **caractéristiques fonctionnelles** associées au cours d'eau et que l'on peut regrouper en quatre catégories principales : hydrologie

et hydrogéologie ; transport solide et hydromorphologie ; qualité physico-chimique de l'eau ; biologie et écologie. Ce terme de caractéristiques fonctionnelles recouvre la dynamique des flux d'eau, des flux et des concentrations de matière associés (matières en suspension, nutriments, contaminants). Il englobe aussi les caractéristiques des compartiments physiques (lit, berges) ou biologiques du cours d'eau, ainsi que les interactions entre ces différentes composantes. Ces caractéristiques étant en interaction, leur prise en compte simultanée a nécessité une approche pluridisciplinaire, mobilisant des experts spécialisés en hydrologie, hydrogéologie, agronomie, transport solide, hydromorphologie, physico-chimie, écotoxicologie, écologie aquatique (poissons, amphibiens, invertébrés, végétaux essentiellement). La notion d'effets cumulés a été ici entendue comme recouvrant **tous les effets** induits par un **ensemble de retenues**, se basant donc sur un large ensemble de variables.

L'expertise a abordé les retenues petites à moyennes, c'est-à-dire de capacité inférieure à quelques millions de m³.

■ Une démarche en plusieurs étapes

Compte tenu de la complexité du sujet et des attentes fortes qui s'expriment au niveau opérationnel, la synthèse de la littérature internationale, qui constitue le résultat de l'expertise scientifique collective (Esco), a été précédée d'une phase exploratoire. Celle-ci visait à appréhender les connaissances et les méthodes mobilisées en France dans le cadre de la gestion opérationnelle des effets cumulés des retenues d'eau. Cette première phase s'est appuyée sur l'analyse des documents disponibles et sur des visites de terrain qui ont permis de couvrir une diversité de situations. L'Esco s'est alors focalisée sur les résultats de la littérature scientifique internationale pouvant enrichir les connaissances déjà mobilisées par les opérateurs. L'analyse de la littérature scientifique a d'abord porté sur les effets d'une retenue seule sur les caractéristiques fonctionnelles du cours d'eau et de la retenue. Cette étape s'est avérée indispensable pour comprendre les processus en jeu, leurs interactions, ainsi que pour identifier les facteurs d'influence, avant de passer à une échelle plus large englobant plusieurs retenues. Elle a ensuite porté sur l'effet cumulé des retenues, en examinant à la fois les connaissances disponibles, les méthodes et outils mobilisables. Un focus sur les aspects méthodologiques des évaluations d'impact cumulé a par ailleurs permis de resituer le cas des retenues dans le contexte plus large de différents projets et démarches de planification susceptibles d'impliquer l'évaluation d'effets cumulés.

L'Esco sera suivie d'une dernière étape visant à proposer des éléments méthodologiques plus directement mobilisables par les opérateurs.

Résultats de l'expertise

■ Une grande diversité d'ouvrages

L'étude de l'effet des retenues est compliquée par la grande diversité de ces structures, diversité qui s'exprime au niveau de leurs usages, de leurs modes d'alimentation et de restitution de l'eau, de leur position dans le bassin versant, de leur lien avec le cours d'eau, de leur taille et forme. Tous ces facteurs contribuent à l'influence qu'une retenue peut avoir sur le milieu aquatique. Cette diversité de situations a conduit à proposer une typologie des retenues fondée sur leur mode d'alimentation (Figure 1, page suivante), facteur qui paraît particulièrement déterminant.

Cette diversité structure la littérature scientifique mobilisable pour une expertise. Par exemple, la littérature en hydrologie traite plutôt des petites retenues se vidant par débordement ; les grandes retenues sur cours d'eau sont majoritaires en hydromorphologie et physico-chimie ; les études en biologie-écologie spécifient rarement le type de plan d'eau étudié, et les travaux relatifs à la physico-chimie sont peu nombreux, au point qu'il a été nécessaire de compléter les références avec des études traitant de lacs, voire de zones humides. Ainsi, pour couvrir l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles nécessaires à l'analyse, il a été nécessaire d'assembler des connaissances relatives à des situations très diverses.

Figure 1



Emplacement des retenues selon leur type d'alimentation (Source : F. Peyriguer (Irstea) d'après O. Douez (BRGM)).

Par ailleurs, mis à part pour l'hydrologie, les retenues étudiées dans la littérature analysée sont essentiellement des retenues en travers de cours d'eau, sans dérivation : le type 5 de la Figure 1 est donc majoritairement représenté. Enfin, le mode de gestion des retenues ou l'existence d'un débit réservé (débit minimal à laisser dans la rivière à l'aval d'un barrage) ne sont que rarement précisés. L'effet des retenues de réalimentation dont le rôle est de soutenir le débit du cours d'eau en période d'étiage n'y est pas abordé. Ces deux aspects sont pourtant à considérer pour transposer les résultats de l'Esco au contexte français, compte tenu de leur importance pressentie.

Effets d'une retenue isolée

■ De multiples effets d'une retenue...

L'état d'un cours d'eau résulte des interactions dynamiques entre ses caractéristiques fonctionnelles : l'altération de l'une d'entre elles peut influencer l'ensemble du fonctionnement du système, d'où l'importance de comprendre comment une retenue modifie chaque caractéristique fonctionnelle. Les effets induits par une retenue dépendent de nombreux facteurs, et sont étroitement liés entre eux. Un travail préalable a été de préciser les ordres de grandeur des processus en jeu et d'identifier les principaux facteurs d'influence, avant d'aborder des retenues multiples, et de chercher à évaluer leurs effets sur le cours d'eau.

Les effets d'une retenue s'expriment à la fois en amont et en aval du cours d'eau, et sur le nouveau milieu aquatique qu'elle constitue, ennoyant parfois une zone d'intérêt écologique ou fonctionnel.

Les conditions établies au sein du plan d'eau créé par la retenue favorisent certains processus physiques, chimiques et biologiques. La retenue implique une perte d'eau pour le cours d'eau aval, en créant une zone d'évaporation accrue, et parfois d'infiltration significative. Elle constitue toujours un piège à sédiments, avec un taux de piégeage proche de 100 % pour les sédiments grossiers. Elle peut également être un lieu privilégié pour la constitution de stocks de phosphore et/ou d'éléments trace métalliques (ETM), de pesticides, susceptibles d'être remobilisés à plus ou moins long terme. Une retenue peut constituer un puits de carbone, d'azote et de phosphore, du fait du stockage particulaire minéral ou organique qu'elle induit. Elle peut aussi à l'inverse jouer un rôle de source pour ces mêmes éléments, du fait des transformations biogéochimiques qu'elle permet. Le bilan entre « puits » et « source » dépend de nombreux déterminants, dont les propriétés biogéochimiques du composé ou de l'élément considéré. Ce bilan hydrochimique présente souvent de fortes variations, liées à la saison et à la dynamique hydrologique. Une retenue peut être le lieu d'une dénitrification (consommant du nitrate), d'autant plus intense que le flux entrant est important. En revanche, le risque d'eutrophisation, associé généralement pour les eaux continentales à de fortes teneurs en phosphore dissous, mérite une attention particulière car il est généralisé. Il peut mettre en péril les divers usages du plan d'eau et se propager vers l'aval. La retenue représente également un nouveau milieu biotique, susceptible d'abriter un nouveau cortège d'espèces et peut se révéler favorable à l'implantation d'espèces à problème, notamment des espèces exotiques présentant un caractère invasif.

En aval, une retenue influence l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles du cours d'eau, en modifiant la nature et la dynamique spatiale et temporelle des flux. La modification du régime hydrologique et du transport solide peut entraîner l'évolution de la forme du lit du cours d'eau et des habitats correspondants. La modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau, notamment sa température et sa teneur en oxygène dissous, en matières en suspension et en nutriments, entraîne des évolutions dans les communautés, variables selon les traits biologiques et écologiques des espèces.

Une retenue implantée sur un cours d'eau génère également des impacts écologiques bien en amont de son emprise physique. Elle constitue parfois un obstacle infranchissable pour les organismes strictement inféodés au cours d'eau, poissons ou certains invertébrés, ce qui peut perturber leur cycle de reproduction ou limiter les échanges d'individus entre sous-populations.

■ ... qui dépend de l'emplacement de la retenue, de ses caractéristiques et du mode de restitution de l'eau en aval

L'ampleur des multiples effets induits par une retenue dépend d'un grand nombre de facteurs, que l'on peut regrouper selon trois composantes :

- **les flux entrants dans la retenue**, déterminés par les caractéristiques du bassin d'alimentation de la retenue - géomorphologie, sols, fonctionnement hydrologique, climat (pluie, évapotranspiration), occupation du sol et pratiques agricoles, lien entre la retenue et le cours d'eau ;
- **les caractéristiques propres de la retenue** - taille, morphologie, volume et dynamique de prélèvement (selon les usages), mode de restitution de l'eau, tous facteurs qui influent sur le devenir des flux entrants et du stock de matière déjà présent (charge interne). Pour ce qui concerne les caractéristiques physico-chimiques, le temps de résidence de l'eau dans la retenue est un paramètre clé ;
- à l'aval, l'influence de la retenue dépendra, en cas de restitution d'eau, de **l'importance de ce flux restitué par rapport au débit du cours d'eau aval**, c'est-à-dire là encore de la position de la retenue dans le bassin versant (amont ou aval) et par rapport au réseau hydrographique (selon qu'elle est connectée ou non), de l'existence d'une dérivation, de la présence ou non d'affluents ou d'apports importants plus en aval, mais aussi de la vulnérabilité du milieu. Le mode de restitution de l'eau (fonctionnement par débordement, profondeur de la prise d'eau, maintien ou non d'un débit réservé) influence autant la quantité que la qualité de l'eau restituée.

Les interactions entre ces différentes composantes sont complexes et soumises à une forte saisonnalité : les processus en jeu et les ordres de grandeur sont connus, mais la quantification précise de ces derniers, dans un

contexte donné, reste une question de recherche. Ces interactions dépendent notamment de l'importance relative des flux entrant et sortant de la retenue, au regard de sa capacité propre et de sa gestion. La modélisation numérique peut être mobilisée pour quantifier l'influence d'une retenue sur certaines des caractéristiques fonctionnelles du cours d'eau. Il subsiste cependant des difficultés conceptuelles. Sa mise en œuvre suppose de plus de disposer de données pour alimenter et valider le modèle. Ce point renvoie au caractère primordial de la disponibilité des données.

Les données : un point crucial pour caractériser les effets d'une retenue sur les milieux aquatiques

Plusieurs types de données sont nécessaires pour déterminer l'influence d'une retenue, et a fortiori d'un ensemble de retenues, sur le cours d'eau : leur position dans le bassin versant, leur mode d'alimentation, leur capacité (surface, volume) et leur mode de restitution au cours d'eau, les usages de l'eau et la dynamique de prélèvement et de restitution qui en résulte. Toute tentative pour estimer l'influence d'une retenue sans disposer de ces données, qu'il s'agisse de l'hydrologie, du transport solide ou de la qualité de l'eau conduit à une grande incertitude. Pourtant, ces données ne sont quasi jamais disponibles, de façon exhaustive, sur un bassin versant. Les données disponibles varient beaucoup d'un pays et d'un bassin versant à l'autre. En France, les dossiers d'instruction ne comportent qu'une partie des informations nécessaires, et nombre de petites retenues ont été construites au siècle dernier sans être documentées. Les bases de données disponibles au niveau national ne comportent pas l'ensemble des données nécessaires pour évaluer l'effet des retenues sur le milieu. Certains départements ont élaboré ou élaborent de telles bases de données, en s'appuyant notamment sur des **enquêtes de terrain**, exigeantes en moyens humains. Les **techniques de télédétection**, permettent et permettront de mieux en mieux de prospecter de vastes surfaces et d'accéder à une large gamme de données : outre les caractéristiques géométriques, d'autres attributs permettent d'accéder à des proxys des concentrations en azote, en phosphore ou en matières en suspension, à la température de surface, aux blooms d'algues. Ces méthodes ont surtout été appliquées à de grands plans d'eau ; leur application à de petits plans d'eau suppose de disposer d'images de plus haute résolution. De plus, leur mise en œuvre suppose un degré de compétence élevé ; elles ne font donc pas encore partie du domaine opérationnel pour les petites retenues. Par ailleurs, elles ne permettent pas pour l'instant d'accéder à **des données essentielles, comme le mode de connexion des retenues au cours d'eau, ou la dynamique de prélèvement de l'eau dans les retenues.**

La dynamique de prélèvement est rarement connue, surtout pour les petites retenues individuelles. Elle est au mieux approchée par une estimation de la demande évaporatoire des cultures irriguées. Ceci induit une large incertitude sur ce terme du bilan hydrique de la retenue qui conditionne en grande partie sa dynamique de remplissage et les volumes qu'elle intercepte effectivement, surtout quand elle ne peut être déconnectée du cours d'eau. Des observations ont ainsi montré qu'une retenue pouvait soustraire au cours d'eau jusqu'à 3 à 4 fois son volume au cours d'une année.

Effets cumulés de retenues

■ Une dimension rarement considérée

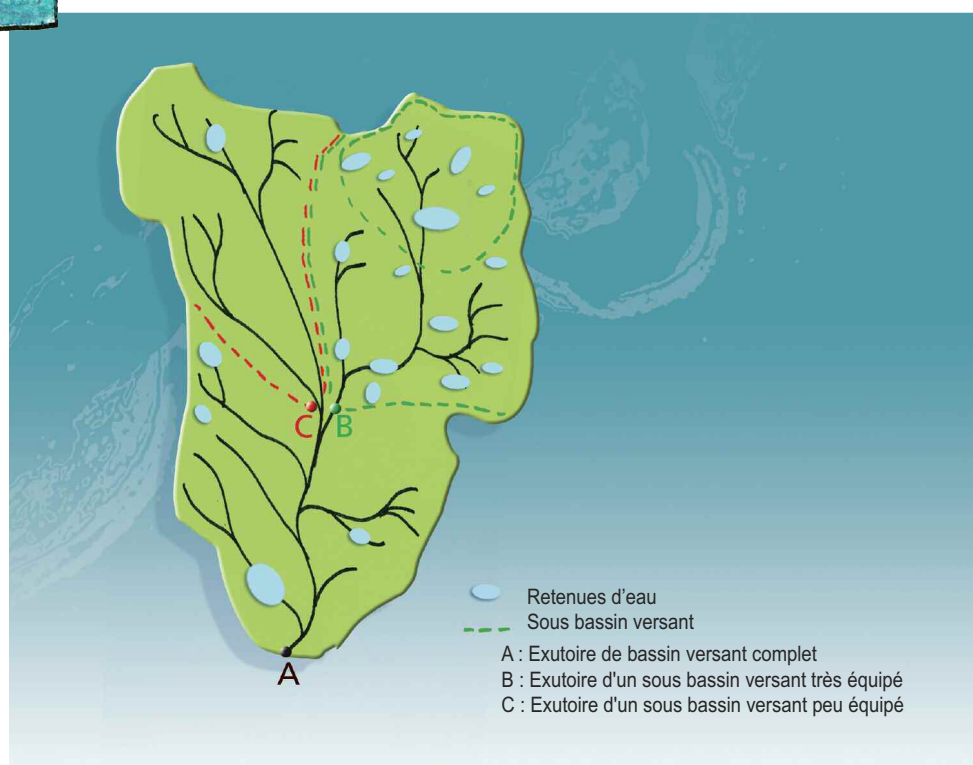
Hormis pour ce qui concerne l'hydrologie et la dimension quantitative de la ressource en eau, **l'effet cumulé des retenues n'a que rarement été l'objet de recherches.** Ce constat a justifié d'ouvrir l'analyse à la littérature grise, quand celle-ci semblait pertinente, mais aussi à investiguer les connaissances et méthodes relatives à d'autres objets que les retenues concernées par l'expertise, quand elles semblaient pouvoir alimenter la réflexion : grands ouvrages, lacs, mares, zones humides. Il ne s'agit pas de transposer tels quels les résultats acquis sur ces structures mais de s'en inspirer, au moins du point de vue méthodologique.

De plus, l'effet cumulé de ces structures n'a le plus souvent été étudié que par type de caractéristiques fonctionnelles : les interactions entre ces différentes caractéristiques n'ont été que rarement abordées. De la même façon, surfaces en eau (milieux lenticques) et cours d'eau (milieux lotiques) sont le plus souvent étudiés par des spécialistes de chacun de ces milieux, qui ne croisent pas nécessairement leurs approches. Ceci ne facilite pas une compréhension globale de l'effet cumulé des retenues sur le fonctionnement du bassin versant et de son cours d'eau.

■ Une influence déterminante de la localisation des retenues dans le bassin versant

La position d'une retenue dans le bassin versant conditionne les flux qu'elle collecte et les flux qu'elle émet (amplitude, temporalité, spéciation pour les éléments chimiques) et qui seront eux-mêmes potentiellement collectés par une retenue située à l'aval. Selon la distribution des retenues sur le bassin en relation avec le cours d'eau, et selon la caractéristique fonctionnelle considérée, les effets cumulés peuvent être très différents de la somme des effets individuels. **La notion de connectivité¹ hydrologique et écologique entre les retenues apparaît comme essentielle** (Figure II).

Figure II



Exemple de retenues connectées entre elles via le réseau hydrographique, et de retenues de versant, non connectées.

La connectivité hydrologique se fait principalement par les eaux de surface. Les connexions souterraines, via les nappes, sont peu significatives dans le contexte de petites retenues.

L'échelle à laquelle est effectuée l'évaluation d'effets cumulés est essentielle : sur la Figure II, on conçoit qu'une évaluation conduira à un effet cumulé significatif des retenues si elle est effectuée au point B, un effet modéré au point C, et un effet intermédiaire au point A. L'expertise a considéré l'ensemble des tronçons des cours d'eau présents sur le bassin versant supportant les retenues dont l'effet cumulé est étudié, et ne s'est pas focalisée sur l'exutoire de ce bassin. La limite aval du bassin versant à considérer est à fixer en fonction des enjeux identifiés.

1 - La connectivité est ici entendue comme le degré de connexion entre les entités considérées. Elle englobe le degré de ramification du réseau hydrographique, la distance entre retenues et leur positionnement ou non sur le cours d'eau, le degré de fragmentation du réseau hydrographique induit par les retenues.

■ Une réduction généralisée des volumes écoulés

La réduction du débit moyen annuel est le principal effet mis en évidence du point de vue de l'hydrologie, avec des intensités variant de 0 à 30 %, mais toujours plus importantes les années sèches (jusqu'à 50 %) que les années moyennes ou humides. Les débits caractéristiques, comme les débits de crue, le débit et la durée des étiages, ou encore la distribution des débits le long du réseau hydrographique sont plus rarement étudiés. Quand ils le sont, les descripteurs utilisés pour en rendre compte varient d'une étude à l'autre, ce qui ne permet pas de comparer les situations. **L'analyse de la littérature n'a pu mettre en évidence un indicateur permettant d'évaluer a priori l'effet cumulé des retenues sur l'hydrologie.** La densité de retenues ou le volume de stockage cumulé sur un bassin n'ont de sens que sur des zones relativement homogènes (sol, végétation, climat, équipement en retenues).

La modélisation numérique apparaît comme une méthode privilégiée pour évaluer l'effet cumulé des retenues sur l'hydrologie. En effet, l'utilisation des seules observations de débits (avant/après équipement, par exemple) se heurte à l'évolution d'autres composantes du système (climat, occupation du sol, pratiques agricoles), ce qui complique l'interprétation. Par ailleurs les campagnes de mesures incluant le suivi de plusieurs retenues sont longues et coûteuses en temps humain. La modélisation se heurte toutefois à diverses questions, pour beaucoup liées à une caractérisation insuffisante des retenues elles-mêmes, aux hypothèses associées à la représentation de leur fonctionnement au sein du bassin, à la prise en compte des usages de l'eau des retenues, et à l'évaluation des incertitudes associées à la modélisation.

■ Les retenues : des pièges à sédiments qui influencent la morphologie du cours d'eau aval

Étudiées isolément ou en effets cumulés, **les retenues agissent toujours comme des pièges à sédiments, notamment pour la fraction grossière.** À l'échelle du bassin versant, elles peuvent contrebalancer, au moins en partie, les flux solides émis par l'augmentation de l'érosion liée à la transformation des paysages et certaines pratiques agricoles. Des modèles permettant d'estimer à la fois l'érosion de versant, la capacité de transport des sédiments et leur routage dans le cours d'eau peuvent évaluer cet effet. Le taux de piégeage propre aux petites retenues reste toutefois à mieux étudier. **L'ajustement morphologique du cours d'eau aval,** résultant à la fois du piégeage de la fraction grossière et de la réduction des écoulements est beaucoup plus difficile à prévoir : si des modèles conceptuels sont capables d'expliquer les processus en jeu et les facteurs d'influence, l'élaboration d'un modèle prédictif reste difficile, compte tenu des nombreux facteurs en jeu et des temps longs associés à l'ajustement morphologique des cours d'eau. La tendance générale observée est une diminution de la largeur de bande active du cours d'eau, c'est-à-dire de la partie du lit soumise aux écoulements, et de la dynamique latérale de ses chenaux.

Du point de vue opérationnel, **la connaissance du contexte sédimentaire du bassin versant concerné, déficitaire ou excédentaire,** est une première étape clé pour évaluer les impacts prévisibles (incision ou exhaussement du lit) et choisir la méthode adaptée pour évaluer l'effet cumulé des retenues sur le transport sédimentaire et l'ajustement morphologique du cours d'eau. La connectivité des retenues entre elles et avec le cours d'eau joue également car elle permet, ou non, l'apport de sédiments par des affluents non influencés par des retenues, « effaçant » l'effet des retenues vers l'aval du cours d'eau.

■ Connectivité et distance d'influence : deux notions clés pour la qualité physico-chimique de l'eau

La distance d'influence désigne, pour une variable caractérisant la qualité physico-chimique de l'eau, la distance nécessaire à l'aval de chaque retenue pour que la variable considérée revienne au niveau qu'elle aurait sans la retenue. Elle est typiquement de quelques dizaines de mètres pour la teneur en oxygène dissous, mais peut atteindre plusieurs centaines de mètres pour la température. Si la distance entre deux retenues est supérieure à cette distance d'influence, il n'y a pas d'interaction entre les effets induits par chaque retenue. Sinon, il faut tenir compte de ces interactions, et les effets peuvent se propager de l'amont à l'aval. La connectivité hydrologique entre les retenues est donc là aussi déterminante. La distance d'influence varie avec la variable considérée,

l'importance de sa modification dans la retenue, le mode de restitution de l'eau, et l'évolution de la variable vers l'aval, liée notamment soit à des processus physiques et chimiques, soit aux conditions hydrologiques : alimentation diffuse du cours d'eau ou présence d'affluents. Cette notion est pertinente pour la température, la teneur en oxygène dissous et les concentrations des nutriments ou contaminants. Elle ne s'applique pas dès lors que l'on considère les flux.

L'effet cumulé des retenues se traduit fréquemment par **une diminution des flux de nitrate transmis vers l'aval**. Lorsque les retenues sont connectées, cette diminution est moindre que la somme des abattements que provoquerait chaque retenue « seule », et l'abattement cumulé n'augmente plus que marginalement si le nombre de retenues est élevé (effet cumulé infra-additif). L'efficacité du stockage particulière dans les retenues conduit à **la constitution d'une charge interne de phosphore**, qui peut représenter l'équivalent de plusieurs dizaines d'années de flux entrants et pourra entraîner la remobilisation du phosphore dissous dans certaines conditions.

Deux types d'approches complémentaires sont envisageables pour appréhender l'effet cumulé des retenues sur la qualité physico-chimique de l'eau : une approche de modélisation spatialisée qui intègre le fonctionnement des retenues présentes dans le bassin versant dans lesquelles elles s'inscrivent, et permet de prévoir l'effet de nouvelles retenues ; et une approche basée sur l'étude statistique des relations entre la qualité de l'eau à l'exutoire du bassin versant et des métriques paysagères qui rendent compte des déterminants du fonctionnement du bassin versant intégrant des retenues. Des indicateurs, utilisés pour des lacs présents sur un bassin versant et caractérisant leur degré de connectivité, pourront notamment être adaptés au contexte des retenues. **La mise en œuvre de ces deux types d'approches passe par l'acquisition de nombreuses données, ainsi que par des progrès conceptuels et de connaissance. Le degré même de complexité des modèles à mettre en œuvre, dans un contexte donné, pour cerner les processus émergents liés au cumul de retenues reste une question de recherche.**

■ Une influence d'ensemble sur les communautés biologiques

La présence de retenues peut avoir un impact sur l'ensemble du réseau trophique et des habitats, du fait de modifications des conditions environnementales, de la connectivité et des processus de dispersion des organismes eux-mêmes. L'ampleur et la nature de ces impacts dépendent fortement du contexte dans lequel ils s'inscrivent. Des convergences existent toutefois dans les réponses de certaines caractéristiques des communautés à la présence et au nombre de retenues : diminution de l'abondance des espèces rhéophiles² pour les poissons, évolution de la structure des communautés d'Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères pour les macro-invertébrés, implantation d'espèces invasives. Les impacts biologiques s'observent aussi vers l'amont ou régionalement, en lien avec les processus de dispersion spécifiques des organismes. Il n'existe pas d'approche permettant d'anticiper les effets cumulatifs des retenues sur le compartiment biologique de manière globale.

Des outils potentiellement mobilisables sont cependant disponibles. Ainsi, **certains bioindicateurs, comme la structure des communautés d'invertébrés benthiques, sont sensibles à la présence et au nombre de retenues sur le bassin versant : l'analyse de leur évolution le long du cours d'eau au fil des retenues peut être utilisée**. On peut aussi approcher **les conséquences des modifications hydrologiques sur les communautés vivantes**, notamment pour les poissons et en étiage, ce qui est directement transposable au contexte des retenues. D'autres approches abordant les conséquences de la fragmentation sur la viabilité des populations, ou le risque vis-à-vis des espèces invasives, paraissent également transposables à la problématique des retenues.

■ Prendre en compte les grandes échelles de temps et d'espace

L'échelle d'espace considérée dans les études est habituellement celle du bassin versant où sont implantées les retenues. L'expertise a toutefois montré la nécessité de considérer de plus **grandes surfaces**. Ainsi, la multiplication des retenues induit une **diminution des flux d'eau et de sédiments** transférés à la mer, ce qui influence le fonctionnement des estuaires et zones côtières. Les modifications globales de flux de nutriments sont à envisager, et notamment celle très plausible d'un accroissement des flux de P bio-disponible. De même, compte

tenu de la surface qu'elles représentent, l'influence des retenues sur la **production de gaz à effet de serre** (méthane, dioxyde de carbone, protoxyde d'azote) à l'échelle mondiale est certainement significative. L'analyse n'a toutefois pas permis de déterminer si, à l'échelle globale, elles constituaient un puits ou une source de carbone.

L'expertise a par ailleurs mis en évidence **la nécessité de tenir compte des temps longs**, qu'il s'agisse de l'ajustement morphologique des cours d'eau, de la constitution de stocks de phosphore ou de polluants, ou des processus d'extinction d'espèces liés à la fragmentation du paysage par les retenues, autant de processus qui s'étendent sur plusieurs décennies. L'implantation de retenues contribue à une évolution de l'occupation du sol et des pratiques culturelles associées ; celle-ci influence en retour le fonctionnement du bassin-versant : cet effet indirect mérite d'être considéré dans la durée. Compte tenu de la longue durée de vie des retenues (plusieurs décennies), l'influence du changement climatique sur le fonctionnement d'un bassin et sur la capacité de remplissage des retenues qu'il comporte doit être considérée dès lors que l'on s'interroge sur l'effet cumulé des retenues, les effets des retenues étant d'autant plus marqués que les années sont sèches.

■ Des enseignements communs aux différents types d'évaluation d'effets cumulés

Les considérations théoriques sur les **méthodes d'évaluation des effets cumulés** insistent, dans un contexte plus large que celui des seules retenues, sur l'intérêt de mener une **démarche à deux échelles emboîtées**, permettant de considérer avec plus d'attention certaines zones du bassin tout en ayant une vision d'ensemble de son fonctionnement et de celui de ses sous-bassins. Elles mettent aussi en évidence l'intérêt **d'une gouvernance de l'évaluation dépassant l'échelle des projets considérés**. Ceci permet d'assurer, sur une vaste zone, une démarche transparente et homogène pour le choix des composantes de l'environnement que l'on souhaite préserver, ainsi que l'utilisation de métriques et de seuils partagés pour déterminer si certains effets sont significatifs.

Conclusions-perspectives

L'expertise a mis en évidence la faiblesse des connaissances sur l'effet environnemental cumulé des retenues. Très peu d'études abordent l'influence cumulée des retenues sur l'ensemble des différentes caractéristiques fonctionnelles considérées dans l'expertise, bien que celles-ci interagissent fortement. **La présence de retenues sur un bassin versant modifie l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles**. Cette modification constitue un problème dès lors qu'elle affecte **un cours d'eau déjà fragilisé**. L'évaluation de la significativité des effets sur un bassin suppose donc **d'identifier les enjeux sur ce bassin, et de caractériser son état au vu de ces enjeux**. Une démarche en deux étapes, correspondant à **deux échelles emboîtées**, permettrait de caractériser un bassin versant dans son ensemble, en identifiant les sous-bassins les plus fragilisés et les enjeux associés, avant d'aborder l'évaluation des effets cumulés de nouveaux projets sur ces sous-bassins.

En analysant les effets cumulés des retenues, les processus en jeu et les facteurs d'influence, l'expertise a permis d'identifier les principales interactions entre les caractéristiques fonctionnelles et la nécessité de les prendre en compte pour évaluer les effets cumulés. Par exemple, l'évolution des débits d'étiage et des débits en période de reproduction influence les conditions de vie des poissons ; l'évolution de la fréquence et de l'amplitude des crues morphogènes influence l'ajustement morphologique du cours d'eau, et par conséquent les conditions d'habitat ; l'évolution des apports de nutriments et du temps de résidence dans les retenues est liée à la dynamique des débits et influence les conditions abiotiques des cours d'eau, paramètres sensibles pour les organismes aquatiques.

Le déficit de données et connaissances constaté limite le nombre d'indicateurs pertinents ou de méthodes validées qui permettraient d'emblée de caractériser l'influence d'un ensemble de retenues sur un bassin versant, voire d'anticiper l'effet de la construction de nouvelle(s) retenue(s).

L'analyse effectuée permet l'élaboration d'un **cadre méthodologique** pour aborder la question de l'effet cumulé des retenues sur un bassin versant donné, qui constituera l'objet de la phase opérationnelle, à la suite de cette Esco.

Progresser dans l'évaluation des effets cumulés des retenues sur le milieu aquatique passe par l'acquisition de données et de connaissances :

■ **de données de recensement et de caractérisation des retenues** sur les bassins versants concernés par la problématique des effets cumulés - position dans le bassin versant, mode d'alimentation et de restitution en eau, volume et surface, usages et idéalement dynamique de prélèvement en eau le cas échéant ;

■ **de connaissances sur les relations de cause à effet entre la présence de multiples retenues sur un bassin versant** et l'état général du cours d'eau sur ce bassin, afin d'approcher **l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles abordées par l'expertise**. Une démarche d'acquisition de données, menée sur quelques bassins ateliers instrumentés aux caractéristiques contrastées, permettra d'élaborer un ensemble organisé et quantifié de connaissances sur l'effet cumulé des retenues, contribuant au développement nécessaire de modèles intégrés et d'indicateurs validés, aidant eux-mêmes à une prise de décision éclairée.

L'Esco s'est focalisée sur les effets cumulés des retenues sur l'environnement. Elle n'a pas traité les dimensions économiques et sociales associées à leurs usages. Les résultats permettent néanmoins d'alimenter l'étude des usages, services et dys-services écosystémiques associés à l'hydrosystème modifié par les retenues, et ainsi d'objectiver l'évaluation de l'intérêt global de ces ouvrages sur un bassin versant, qui inclut les dimensions économiques et sociales.