

Comment étudier le cumul des impacts des retenues d'eau sur les milieux aquatiques ?

Proposition d'une démarche et d'éléments de méthodes issus d'une expertise scientifique collective



Juin 2017

Auteurs et contributeurs



Auteurs

Cécile Bellot (AFB)

Contributeurs : Bénédicte Augeard (AFB), Romuald Berrebi (AFB), Claire Magand (AFB)

Contact : romuald.berrebi@afbiodiversite.fr

Remerciements

Ce travail est le résultat d'une réflexion collective menée à la suite de l'expertise scientifique collective (Esco) sur l'impact cumulé des retenues d'eau. Nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé aux différentes étapes de cette réflexion.

Nous remercions d'abord les membres du comité de suivi de l'expertise scientifique collective, qui regroupe les parties prenantes intéressées par le sujet, pour les discussions animées et constructives sur la traduction de l'expertise en éléments opérationnels. Merci également d'avoir accompagné la préparation et l'animation des différents séminaires et la rédaction de ce rapport (listes des participants en annexe A).

Merci à tous les participants des séminaires nationaux et en région (listes des participants en annexe A) pour leurs contributions à l'élaboration de cette démarche et à leurs précisions sur les fonctionnements variables des retenues selon les régions.

Merci à Nadia Carluer, chercheuse de l'Irstea et pilote de l'expertise scientifique, pour l'animation de l'interface entre scientifiques et gestionnaires et pour l'appui scientifique et les conseils lors de la préparation de ce rapport. Nous tenons à remercier particulièrement à Sarah Mosnier et Béatrice Leblanc également de l'Irstea pour l'organisation des séminaires.

Merci également aux experts de l'Esco pour leur participation à la rédaction de ce rapport et notamment des fiches méthodologiques (listes des participants en annexe A).

Avant-propos

Ce rapport fait suite à une demande de la Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère chargé de l'environnement auprès de l'Onema (intégré depuis le 1^{er} janvier 2017 dans l'AFB) relatif à l'étude des impacts cumulés des retenues d'eau sur les milieux aquatiques. Une expertise sur le sujet a débuté en 2014 et a été réalisée en trois phases :

- La première phase était une phase exploratoire des questions opérationnelles qui a fait l'objet d'un rapport¹, elle s'est déroulée en 2014.
- La deuxième phase correspondait à la réalisation d'une expertise scientifique collective (ESCo) classique. Elle a été réalisée de 2015 à 2016 par Irstea, en partenariat avec l'Inra, avec le soutien technique et financier de l'Onema. Plusieurs documents ont été produits à l'issue de cette deuxième phase : un résumé exécutif, un rapport de synthèse² et un rapport complet³ en 6 chapitres. Tous ces documents sont disponibles sur le site de l'expertise collective scientifique :

<https://expertise-impact-cumule-retenues.irstea.fr/les-rapports/>.

De nombreuses références à ces documents sont faites tout au long de ce rapport.

- La troisième phase de l'expertise avait comme objectif de proposer des éléments méthodologiques le plus opérationnels possibles, sur la base des résultats de l'expertise et d'échanges avec les différents acteurs. C'est l'objet de ce rapport.

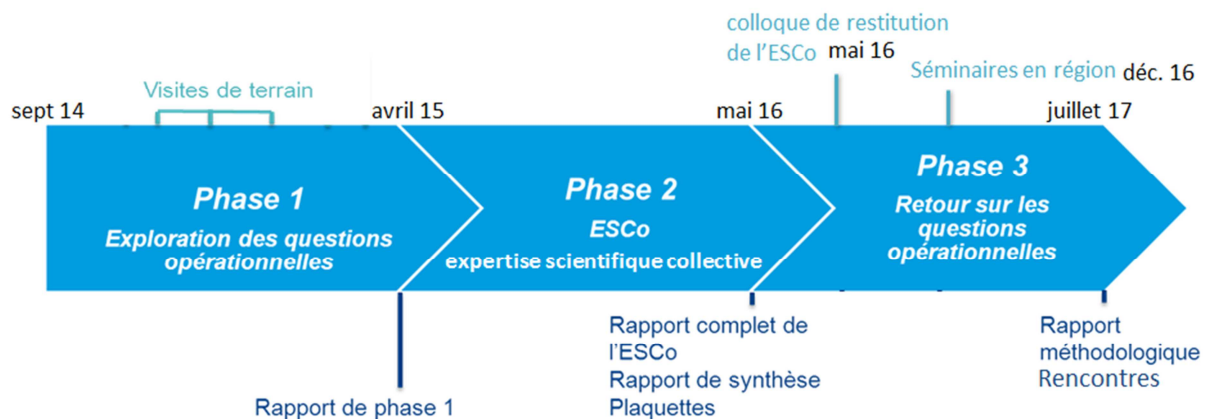


Schéma 1

Figure 1 : Les 3 phases de l'expertise sur l'impact cumulé des retenues d'eau sur les milieux aquatiques

¹ Rapport préliminaire en vue de l'expertise collective sur l'impact cumulé des retenues, IRSTEA ONEMA, décembre 2015, 125p

² Carluer N., Babut M., Belliard J., Bernez I., Burger-Leenhardt D., Dorioz J.M., Douez O., Dufour S., Grimaldi C., Habets F., Le Bissonnais Y., Molénat J., Rollet A.J., Rosset V., Sauvage S., Usseglio-Polatera P., Leblanc B. 2016. Expertise scientifique collective sur l'impact cumulé des retenues. Rapport de synthèse. 82 pp + annexes

³ Carluer N., Babut M., Belliard J., Bernez I., Burger-Leenhardt D., Dorioz J.M., Douez O., Dufour S., Grimaldi C., Habets F., Le Bissonnais Y., Molénat J., Rollet A.J., Rosset V., Sauvage S., Usseglio-Polatera P., Leblanc B. 2016. Expertise scientifique collective sur l'impact cumulé des retenues. Rapport 325 pp + annexes

Ce rapport apporte des éléments sur :

- les bonnes pratiques pouvant améliorer les études d'impacts et leurs instructions ;
- les éléments de méthode et les outils existants ou pouvant être adaptés sans trop d'investissement pour étudier les impacts cumulés des retenues ;
- les pistes de recherche et développement à suivre pour permettre d'améliorer les pratiques.

Ce rapport s'adresse aux acteurs de la gestion de l'eau concernés par la question de l'impact des retenues d'eau, en particulier :

- aux pétitionnaires pour les aider à étudier les impacts cumulés des retenues lors de la réalisation de l'étude d'impact dans leur dossier de demande de création d'une nouvelle retenue ;
- aux bureaux d'études chargés de réaliser des études d'impacts et donc d'étudier les impacts cumulés des retenues ;
- aux gestionnaires de bassin versant pour les aider à réaliser les études de l'impact cumulé des retenues existantes sur leur bassin,
- aux services de l'Etat pour les aider dans l'instruction des dossiers de demande de création de nouvelle retenue.

L'ESCO a montré que les deux termes « impact » et « effet » n'ont pas de définitions significativement différentes. Les termes « impact », « effet » et « incidence » peuvent être utilisés indifféremment et pourraient être intervertis dans ce rapport.

Ce rapport se focalise sur les impacts des retenues d'eau sur les milieux aquatiques et ne traite donc pas des impacts sur le milieu terrestre, ni des aspects de sécurité des biens et des personnes, ni des aspects socio-économiques (notamment la pertinence de construire de nouvelles retenues).

Ce rapport n'a pas de portée réglementaire et n'est pas prescriptif.

Il ne se substitue pas aux textes réglementaires du code de l'environnement. Le respect des recommandations de ce rapport ne garantit pas la compatibilité des études avec les dispositions des SDAGE ou des SAGE ou toute autre disposition opposable qui doit être vérifiée par ailleurs.

Mots clés

Retenue d'eau, impact cumulé, milieux aquatiques, effet cumulé, cumul des incidences

Résumé

Ce rapport vise à proposer aux acteurs de l'eau **une démarche et des éléments de méthodes opérationnels**, pour réaliser **les études de l'impact cumulé des retenues d'eau** sur les milieux aquatiques. Il fait suite à une demande de la Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère chargé de l'environnement et son contenu est majoritairement issu de l'expertise scientifique collective (Esco) « impacts cumulés des retenues d'eau » pilotée par Irstea et de séminaires de travail. Les termes impacts/effets/incidences sont utilisés indifféremment dans le rapport et peuvent être positifs et négatifs.

Ce rapport propose deux échelles différentes pour réaliser les études de l'impact cumulé :

- **L'échelle du bassin versant** pour faire un « état des lieux » du bassin en réalisant un **bilan des impacts cumulés des retenues sur un bassin versant** et en étudiant la sensibilité du bassin à l'implantation de nouvelles retenues. Ce type d'étude permet mettre en avant les principaux enjeux et les impacts cumulés des retenues existantes associés et de proposer des zonages et des recommandations pour tester des scénarios de gestion et d'aménagement de retenues sur l'ensemble du bassin versant.

Une **démarche** en trois étapes est proposée pour réaliser cette étude. Elle est accompagnée de plusieurs **fiches méthodologiques** qui recensent des indicateurs et des outils qui peuvent actuellement être mobilisés, ainsi que des outils qui doivent faire l'objet de développement supplémentaire pour être adaptés à l'étude des impacts cumulés des retenues sur le bassin versant.

- **L'échelle du projet de création de retenue d'eau** pour étudier **les impacts cumulés induits par le projet**, en prenant également en compte l'état actuel du bassin versant et **l'ensemble des autres projets de retenues prévus à proximité**. C'est l'étude à cette échelle qui est demandée dans les études d'impact et qui doit être incluse dans certains dossiers de demande de création de retenue. L'étude devra être proportionnée à l'importance du projet.

Si l'étude à l'échelle du bassin versant existe, celle-ci servira d'état des lieux « initial » pour l'étude à l'échelle du projet. Cette dernière s'appuiera alors sur les zonages et les recommandations définis à l'échelle du bassin versant pour estimer les modifications induites par les projets, en réutilisant les outils et méthodes mis en œuvre dans l'étude du bassin versant. Cette étude pourra être limitée aux impacts cumulés liés aux principaux enjeux mis en évidence dans l'étude du bassin versant.

Si aucune étude à l'échelle du bassin versant n'existe, l'étude à l'échelle du projet pourra s'inspirer de la démarche proposée dans ce rapport à l'échelle du bassin mais en allant moins loin (du fait des moyens plus limités du pétitionnaire).

Les connaissances partielles et le manque de données sur les impacts cumulés des retenues ne permettent pas pour l'instant de proposer des indicateurs « incontournables », fiables et nationaux, pour décrire l'impact cumulé des retenues. Le rapport ne fournit aucun seuil ou aucune valeur guide, qui doivent être définis selon le contexte local. Il est donc toujours nécessaire que le choix des méthodes et des indicateurs à mettre en œuvre soit établi localement et justifié au cas par cas.

Enfin, il est rappelé que ce rapport n'a pas de portée réglementaire et qu'il n'est pas prescriptif. Il propose seulement une démarche et des outils qui semblent pertinents pour étudier l'impact cumulé des retenues d'eau pour répondre aux demandes réglementaires dans les dossiers de création de retenues.

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	10
2. L'ETUDE DE L'IMPACT CUMULE A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT ET SA DEMARCHE EN TROIS ETAPES	16
2.1 La démarche générale.....	16
2.1.1 Présentation de la démarche	17
2.1.2 Les échelles d'étude : comment déterminer la taille du bassin versant et des sous bassins versants à étudier ?	17
2.1.3 Le porteur de l'étude du bassin	19
2.2 L'étape 1 de la démarche : état des lieux à l'échelle du bassin versant	19
2.2.1 Identification des types de retenues présentes sur le bassin versant	20
2.2.2 Identification des impacts cumulés potentiels à partir de la typologie des retenues (phase A)	21
2.2.3 Description des pressions liées ou non aux impacts sur les milieux aquatiques (phase B)	21
2.2.4 Description de l'état des milieux aquatiques sur le bassin versant (phase C)	22
2.2.5 Détermination des impacts cumulés « probables » des retenues qui impactent le bassin versant .	23
2.2.6 Identifier les impacts cumulés « à risque » en croisant les impacts cumulés probables avec les enjeux du bassin (phase D)	24
2.2.7 Hiérarchisation des sous bassins impactés et des impacts à investiguer.....	25
2.2.8 Conclusion de l'étape 1 « état des lieux ».....	25
2.3 L'étape 2 de la démarche : investigations ciblées pour préciser les processus en jeu et l'importance de certains impacts cumulés	26
2.3.1 Choix des méthodes	26
2.3.2 Investigation de certains impacts cumulés des retenues sur les sous bassins versants ciblés	28
2.3.3 Transposition sur d'autres sous bassins.....	29
2.3.4 Conclusion de l'étape 2 « investigation ciblée »	29
2.4 L'étape 3 de la démarche : test de scénarios de gestion pour définir des zonages et des valeurs guides sur le bassin versant.....	29
2.4.1 Construction de scénarios d'aménagement et de gestion.....	30
2.4.2 Étude de sensibilité du milieu	30
2.4.3 Identification de valeurs guides pour les impacts investigués	30
2.4.4 Zonage et recommandation pour les nouveaux projets	31
2.5 Conclusion de l'étude à l'échelle du bassin versant	32
3. L'ETUDE DE L'IMPACT CUMULE A L'ECHELLE D'UN PROJET DE RETENUE.....	33
3.1 Réaliser « l'étude de projet » dans le cas où l'étude à l'échelle du bassin versant existe	33

3.2	Réaliser « l'étude de projet » dans le cas où l'étude du bassin versant n'existe pas	34
3.2.1	Déterminer la taille du bassin versant à étudier autour du nouveau projet.....	34
3.2.2	Adapter la démarche de l'étude du bassin à une échelle réduite.....	35
3.2.3	Trouver une référence pour les indicateurs.....	36
4.	DES OUTILS PROPOSES POUR REALISER LES ETUDES DE L'IMPACT CUMULE DES RETENUES.....	37
4.1	Documents d'appuis pour mettre en œuvre la démarche proposée	38
4.1.1	Quelques pistes pour récupérer des données sur la zone d'étude.....	38
4.1.2	La caractérisation des retenues présentes et des projets de création sur le bassin versant.....	41
4.1.3	Un logigramme pour caractériser le type de retenue étudiée.....	46
4.1.4	Les tableaux liant les caractéristiques des retenues à leurs impacts cumulés potentiels	49
4.1.5	Les précautions à prendre pour calculer et interpréter un indicateur.....	52
4.1.6	Des indicateurs liés aux pressions induites par les retenues	54
4.1.7	Un recensement de pressions autres que celles liées aux retenues.....	57
4.1.8	Des indicateurs traduisant l'état des milieux aquatiques	58
4.1.9	Une liste non exhaustive d'enjeux	61
4.2	Des fiches méthodologiques pour étudier l'impact cumulé des retenues	63
5.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	64
6.	ANNEXES.....	65
	Annexe A - Listes des participants au projet.....	66
	Annexe B – Quelques rappels issus de l'ESCO sur les méthodes d'estimation du cumul et des impacts.....	72
7.	FICHES METHODOLOGIQUES.....	75
	Caractérisation des retenues.....	63
	Hydrologie et modélisation	66
	Hydromorphologie	75
	Méthodes physico-chimiques.....	80
	Ecologie et fonctionnalité des habitats.....	91

Table des illustrations

FIGURE 1 : LES 3 PHASES DE L'EXPERTISE SUR L'IMPACT CUMULE DES RETENUES D'EAU SUR LES MILIEUX AQUATIQUES	2
FIGURE 2 : EMLACEMENT DES RETENUES SELON LEUR TYPE D'ALIMENTATION - SOURCE : F. PEYRIGUER, IRSTEA D'APRES O. DOUEZ, BRGM, ISSU DE L'ESCO	11
FIGURE 3 : TYPOLOGIE DE RETENUES D'EAU	11
FIGURE 4 : SCHEMA DE LA DEMARCHE GENERALE DE L'ETUDE DU BASSIN VERSANT ET SON LIEN AVEC LES ETUDES DES NOUVEAUX PROJETS.....	18
FIGURE 5 : SCHEMA DE L'ETAPE 1 DE LA DEMARCHE : ETAT DES LIEUX SUR LE BASSIN VERSANT	20
FIGURE 6 : TABLEAU DE CROISEMENTS DE QUALIFICATION D'IMPACT ET D'ENJEUX POUR HIERARCHISER LES SOUS BASSINS VERSANTS "A RISQUE"	25
FIGURE 7 : SCHEMA DE L'ETAPE 2 DE LA METHODE GENERALE : INVESTIGATION SUR DES SOUS BASSINS CIBLES	26
FIGURE 8 : SCHEMA DE L'ETAPE 3 DE LA DEMARCHE : TEST DE SCENARIOS ET RECOMMANDATIONS	30
FIGURE 9 : SCHEMA DE LA DEMARCHE ADAPTEE A L'ETUDE DES IMPACTS CUMULES POUR LES PROJETS DE RETENUES.....	36
FIGURE 10 : DONNEES UTILES ET PISTES POUR LES RECUPERER (1/2).....	39
FIGURE 11 : DONNEES UTILES ET PISTES POUR LES RECUPERER (2/2).....	40
FIGURE 12 : PRECISIONS SUR LES DIFFERENTS DEBITS A RENSEIGNER POUR LES DIFFERENTS TYPES DE RETENUES	42
FIGURE 13 : LISTE DES DONNEES UTILES POUR EVALUER LES IMPACTS DES RETENUES (1/3).....	43
FIGURE 14 : LISTE DES DONNEES UTILES POUR EVALUER LES IMPACTS DES RETENUES (2/3).....	44
FIGURE 15 : LISTE DES DONNEES UTILES POUR EVALUER LES IMPACTS DES RETENUES (3/3).....	45
FIGURE 16 : LOGIGRAMME PERMETTANT DE DETERMINER LE TYPE DE RETENUE ETUDIEE SELON SES CARACTERISTIQUES ET SON MODE DE GESTION (FEUILLE 1/2).....	47
FIGURE 17 : LOGIGRAMME PERMETTANT DE DETERMINER LE TYPE DE RETENUE ETUDIEE SELON SES CARACTERISTIQUES ET SON MODE DE GESTION (FEUILLE 2/2).....	48
FIGURE 18 : IMPACTS CUMULES POTENTIELS SUR LES MILIEUX AQUATIQUES POUR CHAQUE TYPE DE RETENUES (PARTIE 1/2).....	50
FIGURE 19 : IMPACTS CUMULES POTENTIELS SUR LES MILIEUX AQUATIQUES POUR CHAQUE TYPE DE RETENUES (PARTIE 2/2).....	51
FIGURE 20 : EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DU DOUX POUR TRAVAILLER SUR UN GRADIENT DE DENSITE D'EQUIPEMENT	53
FIGURE 21 : EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DE L'ARRATS (32, 82) POUR TRAVAILLER SUR UNE DIFFERENCE DE DENSITE DE RETENUES HORS COURS D'EAU.....	53
FIGURE 22 : DES INDICATEURS LIES AUX PRESSIONS INDUITES PAR LES RETENUES (1/3).....	55
FIGURE 23 : DES INDICATEURS LIES AUX PRESSIONS INDUITES PAR LES RETENUES (2/3).....	56
FIGURE 24 : DES INDICATEURS LIES AUX PRESSIONS INDUITES PAR LES RETENUES (3/3).....	57
FIGURE 25 : EXEMPLE DE PRESSIONS NON LIEES AUX RETENUES.....	58
FIGURE 26 : EXEMPLE D'INDICATEURS TRADUISANT L'ETAT DES MILIEUX AQUATIQUES (1/2).....	59
FIGURE 27 : EXEMPLE D'INDICATEURS TRADUISANT L'ETAT DES MILIEUX AQUATIQUES (2/2).....	60

ENCARTS « INFORMATIONS SCIENTIFIQUES ISSUES DE L'ESCO »

Les encarts bleus proposés dans le rapport contiennent des informations issues de l'expertise scientifique collective (notamment du rapport et de la synthèse de l'Esco) sur lesquelles s'appuie la démarche proposée dans ce document.

Encarts « propositions méthodologiques »

Les encarts verts proposent des méthodologies à mettre en œuvre dans des études de l'impact cumulé des retenues, mais qu'il faudra tester sur des cas concrets pour les valider.

Encarts « point d'attention »

Les encarts orange mettent en valeur des points importants qu'il ne faut pas négliger ou des informations sensibles qui doivent impérativement être prises en compte dans des études.

Encart « définition »

Donne la définition d'un mot ou d'un terme utilisé dans ce rapport.

Quelques définitions

Connexion : utilisée ici pour les connexions/rerelations hydrauliques et biologiques entre la retenue et les milieux aquatiques (cours d'eau, zone humides...), le terme n'est pas restreint à la connexion nappe/rivière.

Impact et effet : conséquence des pressions exercées sur les milieux aquatiques (par exemple, l'augmentation des concentrations en phosphore, la perte de la diversité biologique, la mortalité piscicole...)⁴. Les deux termes sont considérés de la même façon dans ce document (voir justification dans le chapitre introductif du rapport de la phase 2 de l'Esco). Ce rapport parle « d'impact » sur les milieux aquatiques puisque c'était le terme utilisé dans la réglementation au commencement de l'expertise. Depuis, c'est le terme « d'incidence » qui a pris plus d'importance dans la réglementation. Nous n'avons pas modifié le terme d'impact dans ce rapport pour garder une cohérence avec les travaux antérieurs. Cependant, les termes « impact », « effet » et « incidence » peuvent être utilisés indifféremment et pourraient être intervertis dans ce rapport.

Indicateur : grandeur observable ou mesurable qui sert à décrire un système et son évolution. On distingue les indicateurs de pression qui permettent de qualifier ou de quantifier l'importance d'une pression liée à ici à la présence de retenues par rapport à un état de référence, de l'indicateur d'état qui permet de décrire l'état des milieux aquatiques (par exemple) et de suivre l'effet des pressions.

Indicateur et méthode : Nous distinguons ici les indicateurs des méthodes. Un indicateur est une donnée unique ou une valeur résultant d'un calcul assez modeste pour décrire un système ou un processus. Une méthode est une démarche plus complexe nécessitant des investigations de terrain ou des capacités de calcul pour une analyse plus poussée du système et nécessitant souvent un ensemble de données plus conséquent.

Pressions : exercice d'une activité humaine qui peut avoir une incidence sur les milieux aquatiques⁵

Retenue : toute surface en eau anthropique où les écoulements sont ralentis. L'eau stockée en amont de seuils ou de barrages en rivière est considérée ici comme une retenue d'eau si le cours d'eau est maintenu artificiellement au-delà des limites de son lit mineur en amont de l'ouvrage. Les gravières et les retenues par excavation en nappe n'ont pas été prises en compte comme des retenues dans cette étude car elles ne ralentissent pas les écoulements de l'eau (avec des échanges continus avec la nappe).

Retenue de réalimentation : une retenue de réalimentation **apporte de l'eau au cours d'eau** en période de basses eaux, pour soutenir le débit à son aval. En général, ces retenues stockent de l'eau en période de hautes eaux pour la restituer lors des périodes de forts prélèvements dans le cours d'eau.

Retenue de substitution : La notion de substitution diffère selon les textes. Le « Guide juridique de construction de retenues » du Ministère chargé de l'environnement de 2012 en donne la définition la plus consensuelle : « *Ouvrages artificiels permettant de substituer des volumes prélevés à l'étiage par des volumes prélevés en période de hautes eaux. Les retenues de substitution permettent de stocker l'eau par des prélèvements anticipés ne mettant pas en péril les équilibres hydrologiques, elles viennent en remplacement de prélèvements existants : c'est la notion de substitution. Certains SDAGE donnent une définition plus restrictive de la notion de retenues de substitution, en particulier en considérant qu'elles ne peuvent être situées qu'en dehors des cours d'eau. Dans chaque bassin, il convient donc de se référer à la définition précisée par le SDAGE.* » Les résultats de l'ESCo ont montré que deux notions pourraient être ajoutées à définition : (i) une retenue de substitution doit être localisée **hors du cours d'eau** pour réellement limiter ses impacts sur les milieux aquatiques et (ii) la substitution évite de « *mettre en péril les équilibres hydrologiques* » **uniquement durant la période de tension où les prélèvements sont substitués, c'est-à-dire à l'étiage.**

⁴ D'après ministère chargé de l'Environnement et Onema : http://www.eaufrance.fr/spip.php?page=concept&id_concept=2039

⁵ D'après ministère chargé de l'Environnement et Onema : http://www.eaufrance.fr/spip.php?page=concept&id_concept=2365

1. Introduction



La question du cumul des impacts de retenues d'eau sur un bassin versant se pose dans deux contextes de gestion de l'eau :

- lorsqu'une retenue d'eau d'une taille importante est en projet, le dossier de demande de création de retenue comporte une étude d'impact, intégrant depuis 2011 (décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011) une étude **des impacts cumulés avec les autres projets** de retenues sur les milieux aquatiques.
- par ailleurs, certains territoires souhaitent se doter de règles régissant l'implantation de retenues, via notamment les schémas (directeurs) d'aménagement et de gestion des eaux S(D)AGE, qui peuvent demander d'évaluer **l'impact cumulé** des retenues, existantes ou nouvelles, sur les milieux aquatiques.

Ce rapport n'entre pas dans les détails de la réglementation pour déterminer dans quel cas il est nécessaire d'étudier le cumul des impacts de retenues. Il a pour objectif de fournir des éléments techniques pour réaliser les études et non d'explicitier la réglementation, d'autant que la législation évolue rapidement sur le sujet. De plus, la demande de réaliser une étude du cumul des impacts peut dépendre des contextes locaux qu'il serait nécessaire d'examiner avec des juristes, ce n'est pas l'objectif de ce document.

Tout pétitionnaire doit se rapprocher des services instructeur locaux pour déterminer si son étude doit comporter un volet sur les impacts cumulés.

Définition de la demande et apports de l'expertise scientifique collective sur l'impact cumulé des retenues d'eau

Dans le but d'améliorer l'évaluation des impacts cumulés, positifs ou négatifs, sur les milieux aquatiques, la Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère chargé de l'environnement a demandé à l'Onema (intégré depuis le 1er janvier 2017 dans l'AFB) de proposer des éléments de méthode, valides et opérationnels. Pour répondre à cette sollicitation, l'AFB a mis en place avec l'Irstea un projet en 3 phases, organisé autour d'une expertise scientifique collective Esco réalisée de 2014 à 2016 en partenariat avec l'Inra et des experts d'autres organismes (voir l'avant-propos).

Les apports de l'expertise scientifique collective (Esco)

Cette expertise a été conduite dans une démarche pluridisciplinaire et mobilisant des experts issus de plusieurs organismes de recherche. Elle a montré qu'il n'y a actuellement pas de méthode simple issue de la recherche pour étudier l'impact cumulé des retenues. Peu d'études sont disponibles sur le sujet et elles sont généralement ciblées sur une caractéristique fonctionnelle particulière du bassin versant, sans étude complète de l'ensemble des impacts. L'expertise a cependant montré que les effets cumulés des retenues dépendent de plusieurs facteurs : le contexte climatique, l'hydro(géo)logie régionale et locale, les types de retenues et leurs usages, la configuration (distribution et connexion) dans l'espace des retenues, ... L'Esco a ainsi défini 5 types de retenues présentées dans les Figure 2 et Figure 3. Cette typologie est affinée dans ce rapport pour mieux relier le type de retenue à ses impacts cumulés potentiels (Figure 16 et Figure 17).

La typologie des retenues

Une typologie des retenues, basée essentiellement sur le mode d'alimentation, est proposée dans l'expertise scientifique collective. Cette typologie est basée sur le fait que l'impact des retenues sur les milieux aquatiques diffère selon l'importance :

- de la connexion hydraulique et biologique de la retenue avec le cours d'eau ;
- de l'origine de l'eau alimentant la retenue ;
- du mode de restitution de l'eau de la retenue dans le milieu naturel.

A partir de ces caractéristiques, 5 types de retenues sont proposés dans la Figure 3 : Typologie de retenues d'eau. Cette typologie a été précisée en ajoutant plusieurs annotations au tableau d'origine (voir ci-dessous).

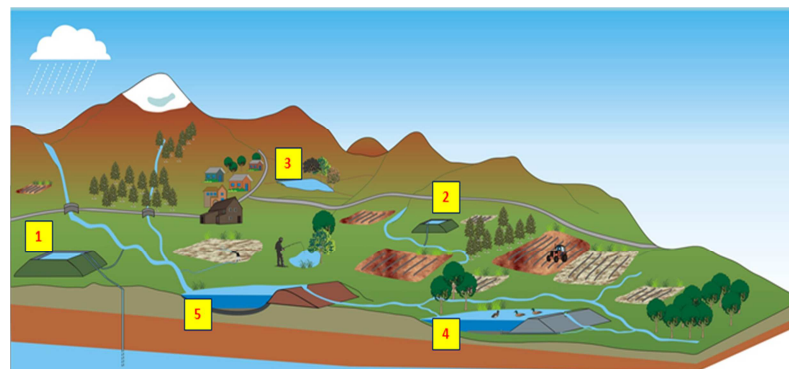


Figure 2 : Emplacement des retenues selon leur type d'alimentation - Source : F. Peyriguer, Irstea d'après O. Douez, Brgm, issu de l'Esco

Figure 3 : Typologie de retenues d'eau

Connexion au cours d'eau	type de retenue		alimentation	restitution dans le milieu naturel	usage	
aucune	1	réserve alimentée par pompage dans la nappe	pompage en nappe	cours d'eau ? (si vidange)	prélèvements d'eau (irrigation, usages domestiques...)	
	2	réserve alimentée par pompage dans le cours d'eau	pompage en cours d'eau ou dans un canal	cours d'eau ? (si vidange)	idem	
très limitée (restitution)	3	retenue collinaire	a	Ruissellement diffus ou concentré par des talwegs secs et drainage	cours d'eau ? (si vidange)	idem, sans usage...
			b	Source temporaire, zone d'exfiltration, ruissellement concentré et drainage	Ecoulement temporaire	idem, sans usage...
limitée (en dérivation)	4	retenue en dérivation	cours d'eau	cours d'eau	idem, eau potable, loisirs, sans usage...	
directe (dans le lit)	5	retenue de barrage	a	sur source	cours d'eau	idem, eau potable, loisirs, hydroélectricité, sans usage...
			b	cours d'eau		
Pour tous les types			Possible alimentation via des eaux usées traitées ou de l'eau pluviale, alimentation MIXTE	Possible infiltration d'eau vers la nappe, possible segmentation de la restitution		

Annotations :

- 1** : Ici, nous parlons de connexion hydraulique et biologique entre la retenue et le cours d'eau. Notons tout de même que le **type 5** correspond à des retenues « connectées » au cours d'eau au sens réglementaire.
 - 2** : Quel que soit le type de nappe : nappes phréatique, alluviale ou profonde, libres ou captives.
 - 3** : Si un cours d'eau est cartographié dans la cartographie des cours d'eau pérenne à l'exutoire de la retenue, la retenue est de **type 5**, sinon, elle reste bien dans le **type 3b**.
 - 4** : Cas de retenues construites sur une zone d'exfiltration, sur une zone engorgée (cuvette naturelle) assurant la rétention de tous les écoulements ; la retenue n'alimente donc pas de cours d'eau.
 - 5** : Comprend les retenues construites en dérivation du cours d'eau mais aussi les retenues construites directement dans le lit mineur de la rivière avec création d'un bras de contournement pour le cours d'eau (à condition que le contournement ne soit pas un canal/ une conduite, mais un lit reconstitué, sinon, cette retenue ne peut pas être qualifiée de retenue en « dérivation »).
 - 6** : Les stockages d'eau en amont des seuils/barrages sur cours d'eau sont considérés ici comme des retenues lorsque l'eau est maintenu artificiellement au-delà des limites du lit mineur du cours d'eau ; nous n'avons pas pris en compte le stockage lorsqu'il reste dans le lit mineur. Cependant, la limite entre les deux peut parfois apparaître ambiguë (cas des vallées très encaissées).
 - 7** : Dans certains cas particuliers, la retenue de barrage peut aussi être alimentée par des relevages de l'eau de rivière, par pompage en aval de l'ouvrage (notamment pour gérer les périodes de production d'énergie).
 - 8** : Les alimentations mixtes peuvent être de plusieurs types : des retenues de barrage avec une seconde alimentation par des pompes hivernaux dans le cours d'eau en aval de l'ouvrage (pour de l'hydroélectricité) ce qui correspond à un mixte **type 2** et **type 5**, des retenues collinaires alimentées par ruissellement peuvent être complétées par des pompes hivernaux ce qui correspond à un mixte **type 3** et **type 1 ou 2**, une retenue peut en alimenter une autre en cas de problème de remplissage, des retenues collinaires peuvent être également alimentées par drainage...
 - 9** : L'infiltration d'eau vers la nappe dépend de l'étanchéité de la retenue. L'infiltration d'eau vers la nappe est utilisée, particulièrement pour les retenues de **type 2**, pour recharger la nappe ou lutter contre les pollutions par des dilutions de l'eau de la nappe en apportant de l'eau filtrée par le sol ou en formant un dôme piézométrique qui protégera un captage en détournant des flux d'eau polluée (technique utilisée notamment pour la sécurisation de captage d'alimentation en eau potable).
 - 10** : Il y a segmentation lorsque la restitution se fait à la fois dans le cours d'eau mais aussi dans d'autres structures artificielles (une autre retenue, un canal de dérivation en sortie d'ouvrage...) ou par transfert vers un autre bassin versant, ce qui constitue une perte d'eau pour les milieux aquatiques dans lesquels sont effectués le prélèvement.
- Note** : Les gravières et les retenues par excavation en nappe n'ont pas été prises en compte comme des retenues dans cette étude car elles ne ralentissent pas les écoulements de l'eau et correspondent plutôt à une « mise à l'air libre » de la nappe.

L'intérêt d'une approche à l'échelle du « bassin versant »

L'Esco a permis de montrer que l'impact cumulé de retenues doit s'étudier en prenant en compte plusieurs points essentiels :

- il faut se placer à une échelle spatiale **intégrant toutes les sources de pressions** : l'étude ne doit pas être menée seulement à l'échelle du projet de construction de nouvelle retenue mais aussi à une échelle plus large, pour prendre en compte toutes les sources de pressions et comprendre la spatialisation de l'ensemble des impacts induits ;
- il est proposé de s'appuyer sur **deux approches complémentaires** pour évaluer les impacts cumulés des retenues :
 - estimer les impacts cumulés des **retenues déjà présentes** en partant de l'observation de l'état des milieux aquatiques et des pressions sur le bassin versant,
 - prévoir **l'évolution future** des impacts cumulés sur le bassin versant suite à l'implantation de nouvelles retenues en quantifiant les pressions induites par ces **nouveaux projets** par des modèles prédictifs se basant sur l'observation des impacts existants.

Suite à l'Esco, plusieurs séminaires de travail collectifs, en collaboration/parteneriat avec des acteurs et gestionnaires des milieux aquatiques ont été organisés pour discuter de la façon d'utiliser les résultats de l'ESCO et de produire des documents opérationnels. Les documents relatifs à ces séminaires sont disponibles sur le site de l'Esco (<https://expertise-impact-cumule-retenues.lrstea.fr/>).

Ces travaux ont mis en avant que la grande variabilité des contextes et le manque de connaissances actuel ne permettent pas de proposer une méthode unique pour réaliser l'étude de l'impact cumulé des retenues, il est nécessaire de contextualiser les outils disponibles. C'est pour cela qu'une approche souple et adaptable au contexte et aux enjeux locaux a été développée. Ces travaux ont permis de recenser, et le cas échéant d'élaborer, des éléments méthodologiques opérationnels permettant d'améliorer la qualité des études et des dossiers d'instruction.

Les deux échelles d'étude proposées

Ce sont deux approches complémentaires, à deux échelles différentes, qui sont proposées dans ce rapport pour réaliser et cadrer les études d'impact cumulé des nouveaux projets de création de retenue :

- une étude à l'échelle du bassin versant qui permet de faire le **bilan des impacts cumulés des retenues déjà présentes sur le bassin versant** et étudier la sensibilité du bassin à la construction de **nouvelles retenues**. Une étude à cette échelle permet d'identifier les enjeux, de tester des stratégies de gestion, comme par exemple des mesures spécifiques à mettre en œuvre, et de préconiser des emplacements pour les futurs projets ou des mesures d'atténuation des nouveaux projets. Cette étude du bassin pourra servir de document de planification. Pour réaliser cette « **étude du bassin** », une démarche en trois étapes est proposée ;
- des études à l'échelle des projets de nouvelles retenues qui permet de préciser comment s'inscrivent les impacts d'une nouvelle retenue dans le contexte général du bassin versant, en tenant compte des autres projets. Ces « études projet » pourront s'appuyer sur l'étude du bassin versant si elle est disponible. Sinon elles pourront s'inspirer de la démarche proposée dans l'étude du bassin mais dans une version simplifiée.

L'étude à l'échelle du bassin versant permet donc de « cadrer » et de faciliter les études du cumul des impacts à l'échelle des projets, mais ces dernières peuvent être réalisées en son absence.

Présentation du rapport

Plan du rapport

Ce rapport est conçu sous la forme d'un document synthétique explicitant comment réaliser les études pour les deux échelles proposées et apportant plusieurs pistes pour adapter au contexte local les indicateurs et les outils existants. Il comporte trois parties :

1. une démarche pour réaliser des études des impacts cumulés **des retenues d'eau sur le bassin versant**, permettant de faire un état des lieux des impacts cumulés sur le bassin versant (partie 1) ;
2. un cadre pour les études du cumul des impacts **des nouveaux projets de retenue** (partie 2) ;
3. **des outils** (indicateurs et méthodes) utiles pour étudier les impacts cumulés des retenues aux deux échelles d'études (partie 3). Ce recensement d'outils n'est pas exhaustif, d'autres outils pourront être utilisés dans ces études, au gré des avancées scientifiques et des données disponibles.

Précautions d'utilisation de ce rapport

Aucune portée réglementaire

Ce rapport n'a **aucune portée réglementaire** et n'est pas prescriptif. Il ne fait que des **propositions** de méthode pour réaliser une étude de l'impact cumulé des retenues d'eau.

Comme l'a mis en avant l'Esco, si les impacts d'une retenue sur les milieux aquatiques ont été bien étudiés, il y a encore des lacunes dans la connaissance du cumul de ces impacts en présence de nombreuses retenues. Ce rapport ne propose donc aucun « outil incontournable » pouvant être utilisé dans toutes les études du cumul des impacts, car les outils proposés doivent être **adaptés au contexte local**. Le rapport ne fournit aucun seuil ni aucune valeur guide, qui doivent là aussi être définis selon le contexte local.

Les termes « impact », « effet » et « incidence »

L'ESCO a montré que les deux termes « impact » et « effet » n'ont pas de définitions significativement différentes. Ce rapport parle « d'impact » sur les milieux aquatiques puisque c'était le terme utilisé dans la réglementation au commencement de l'expertise. Depuis, c'est le terme « d'incidence » qui a pris plus d'importance dans la réglementation. Nous n'avons pas modifié le terme d'impact dans ce rapport pour garder une cohérence avec les travaux antérieurs. Cependant, les termes « impact », « effet » et « incidence » peuvent être utilisés indifféremment et pourraient être intervertis dans ce rapport.

Pourquoi ce rapport ne qualifie pas les d'impacts de « positif » ou « négatif »

Un impact va être considéré comme négatif s'il le dégrade le milieu et positif s'il est bénéfique pour le milieu, c'est-à-dire qu'il améliore sa qualité/son habitabilité. **Ce rapport ne précise pas le caractère positif ou négatif de l'impact** car :

- un impact n'est pas positif/négatif dans tous les cas de figure. C'est uniquement au niveau local, en fonction du contexte et de la réponse du milieu, qu'un impact peut être estimé comme **bénéfique ou non** pour le milieu et donc qualifié de positif ou négatif. Par exemple, augmenter la vitesse des écoulements dans un cours d'eau peut être « positif » si le milieu est colmaté, mais « négatif » si le lit est déjà très érodé.
- De plus, si supprimer des pressions sur un compartiment à un moment donné peut avoir un impact bénéfique pour le milieu, cela peut faire apparaître une autre pression sur un autre compartiment ou à un autre moment. Il n'est alors pas évident de savoir si cet impact est globalement positif ou négatif pour le milieu. Par exemple remplacer toutes les retenues pompant en cours d'eau l'été par des retenues de substitution permet de ne plus pomper dans le cours d'eau en été et n'aggrave plus les

étiages. Par contre, si toutes ces nouvelles retenues pompent en hiver dans le cours d'eau, il pourra y avoir une diminution des débits hivernaux et ce qui pourra perturber certaines espèces aquatiques (diminution des zones de frayère, modification des cycles biologiques...).

C'est donc uniquement en fonction du contexte et de la réponse du milieu qu'il sera possible de déterminer si un impact ou sa suppression sont bénéfiques (ou non) pour le milieu et donc de qualifier l'impact de positif (ou négatif). Si ce rapport ne fait pas cette distinction, **c'est aux gestionnaires et aux pétitionnaires de le montrer au cas par cas dans le cadre de son projet.**

2. L'étude de l'impact cumulé à l'échelle du bassin versant et sa démarche en trois étapes

Cette partie concerne l'étude globale, à l'échelle d'un bassin versant, qui permet réaliser un **état des lieux** sur le bassin en faisant le **bilan des impacts cumulés des retenues déjà présentes** sur le territoire et en étudiant la sensibilité du bassin versant à l'implantation de nouvelles retenues. C'est ce que nous appelons par la suite « l'étude du bassin ». Une **démarche** est proposée pour réaliser cette étude.

Une étude à cette échelle doit permettre de proposer des stratégies d'aménagement sur le bassin versant, de définir les enjeux et d'identifier des mesures spécifiques à mettre en œuvre : localisation privilégiée des futurs projets, mesures d'atténuation à prendre en compte par les nouveaux projets, mesures de gestion préconisées pour les retenues... Ainsi, la démarche suggérée permet de proposer **des zonages et des recommandations** concernant l'implantation de retenue sur l'ensemble du bassin versant. Elle permet donc de simplifier les études de l'impact cumulé à réaliser pour chaque projet de retenue.

Le porteur de cette étude sera défini localement selon les territoires et les structures existantes mais ce n'est *a priori* pas le même maître d'ouvrage que celui des études des projets de retenues.

2.1 La démarche générale

La démarche proposée pour réaliser l'étude à l'échelle du bassin versant s'appuie sur 4 grands principes mis en évidence lors des réunions de travail.

Principe 1 : travailler dans un premier temps à l'échelle **du bassin versant**, l'étude du bassin versant venant ensuite **guider les études de l'impact cumulé pour chaque projet** ;

Principe 2 : combiner des **approches par les pressions** et par la **réponse du milieu** en s'appuyant sur les résultats de l'expertise ;

Principe 3 : rechercher des « **références** » **adaptées** au contexte du bassin versant ;

Principe 4 : tester dans l'étude du bassin versant **des scénarios** d'équipement pour donner des recommandations et définir des zonages pour d'éventuelles nouvelles retenues, en faisant leur évaluation (des scénarios) au regard des effets induits sur le milieu, négatifs et positifs, et les enjeux sur le bassin versant et l'état du bassin versant, définit en concertation entre les acteurs en fonction de leur importance sur le bassin versant.

Cette démarche s'appuie sur l'idée qu'il serait trop complexe d'étudier l'ensemble d'un bassin versant en détail.

2.1.1 Présentation de la démarche

La démarche proposée comporte trois étapes, schématisées dans la Figure 4 et détaillée ci-dessous.

Étape 1 : réaliser un **état des lieux à l'échelle du bassin versant**, à partir des données disponibles, qui permette de proposer une hiérarchisation des sous bassins versants suivant les enjeux et les effets cumulés probables identifiés et de sélectionner, si cela est nécessaire, des sous bassins à étudier plus en détail (pour palier un manque de données ou pour préciser des processus) ;

Étape 2 : **investiguer spécifiquement quelques sous bassins versants**, ciblés par l'étape 1, pour préciser leur fonctionnement et qualifier l'importance des impacts cumulés ciblés, et si possible transposer les résultats obtenus sur le maximum de sous bassins versants semblables (cette étape n'est à réaliser que si des sous bassins versants ont été ciblés dans l'étape 1 comme nécessitant un approfondissement des connaissances les concernant), cela permet de limiter les investigations à des paramètres/sous bassins versants ciblés ;

Étape 3 : réaliser des **tests avec différents scénarios** de gestion et d'aménagement pour évaluer la sensibilité des milieux aquatiques aux modifications induites par les retenues et pour proposer des zonages et des recommandations pour minimiser l'impact de nouvelles retenues.

Cette démarche est accompagnée de propositions de méthodes et/ou d'indicateurs pour chaque étape. Il faut choisir les méthodes et des indicateurs les plus adaptés ou adaptables au bassin à étudier, en fonction de son contexte et de ses enjeux. Cette démarche est donc souple et doit être adaptée au cas-par-cas en accord avec tous les acteurs locaux.

2.1.2 Les échelles d'étude : comment déterminer la taille du bassin versant et des sous bassins versants à étudier ?

Un des premiers points avant de commencer l'étude d'un bassin versant est de déterminer les échelles de travail : comment délimiter le bassin versant et les sous bassins versants à étudier ?

Il est proposé d'utiliser avant tout les découpages existants, issus par exemple d'autres études ou les périmètres d'action des structures de gestion existantes. Ces découpages peuvent correspondre à des fonctionnements spécifiques tout en tenant compte du contexte local (gouvernance, géologie, délimitation de gestion existante). Il est par exemple possible de se baser sur les découpages :

- des masses d'eau de surface, échelle qui s'impose pour satisfaire aux objectifs de la directive cadre sur l'eau (DCE) au plan national, mais les tailles de ces masses d'eau peuvent parfois être très variables au sein d'un même bassin versant ;
- des masses d'eau souterraines (également utilisées dans la DCE), mais leurs superficies peuvent ne pas correspondre aux échelles d'études des milieux aquatiques de surface ;
- des découpages préexistants, mais ces découpages ne couvrent pas forcément tout le bassin versant à étudier :
 - le territoire du SAGE ou la zone du SAGE concernée par la question des retenues, le contrat de rivière et d'autre gouvernance,
 - le découpage du plan d'aménagement et de gestion durable (PAGD) car il comporte un zonage spécifique aux retenues de son territoire,
 - le territoire d'un syndicat de rivière,
 - le territoire choisi dans d'autres études comme les études de volumes prélevables (EVP) lorsqu'elles sont disponibles (périmètres élémentaires ou unités de gestion).

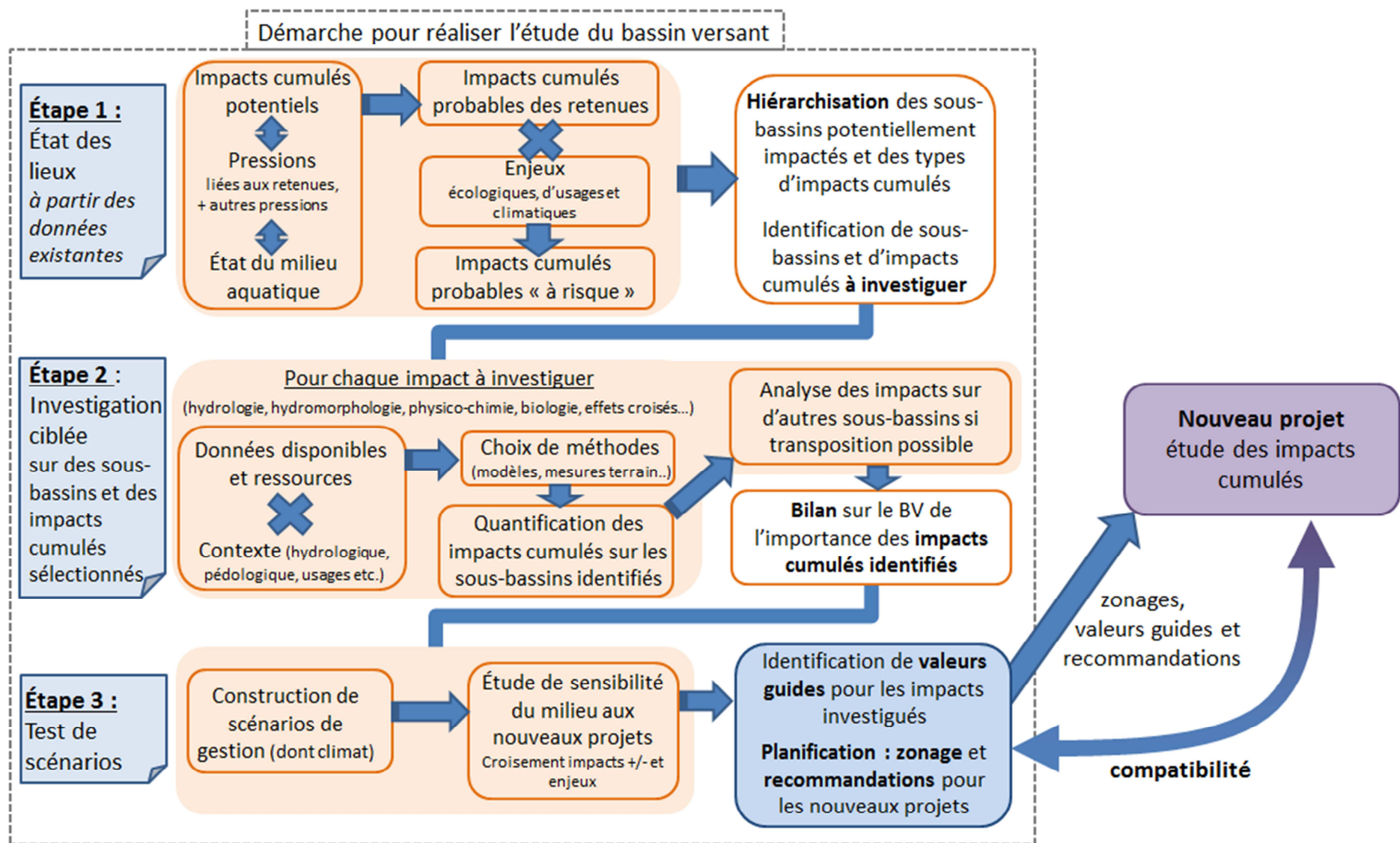


Figure 4 : Schéma de la démarche générale de l'étude du bassin versant et son lien avec les études des nouveaux projets

Lorsqu'aucun découpage n'est disponible, il faut alors réaliser un découpage adapté au contexte local (gouvernance, pressions...), c'est-à-dire cohérent avec le fonctionnement hydrologique des bassins et les processus étudiés. L'ordre de grandeur proposé ici pour délimiter les sous bassins est compris entre 50 à 100 km². Le découpage final doit dans tous les cas être.

Il est préférable que les sous bassins versants présentent des tailles assez homogènes pour faciliter leur comparaison. De plus, il faut bien prendre en compte dans ces découpages toutes les particularités régionales, comme par exemple les zones où les écoulements en nappe ne suivent pas les écoulements de surface et la logique des bassins versants. Il faut donc rester vigilant, comme par exemple à ce que les écoulements de surface et les écoulements souterrains soient le plus possible cohérents avec les délimitations choisies.

2.1.3 Le porteur de l'étude du bassin

Le porteur de l'étude du bassin doit être **déterminé localement**, en fonction des structures présentes, de leur implication, de leur légitimité et de leur capacité à porter de telles études. Il peut s'agir :

- du SAGE ou de la commission locale de l'eau CLE ;
- des syndicats de rivière dans le cadre des contrats de rivière ;
- des établissements publics territoriaux de bassin EPTB ;
- des organismes uniques de gestion collective OUGC ;
- d'autres structures qui portent des projets de territoire, etc...

D'une manière générale, le porteur de l'étude du bassin versant doit être en capacité technique de :

- recueillir des données et de les banqueriser ;
- assurer l'animation de l'étude et la concertation entre les parties prenantes ;
- être compétant et reconnu pour définir des préconisations d'aménagement et de gestion ;
- diffuser l'étude du bassin et les données associées.

2.2 L'étape 1 de la démarche : état des lieux à l'échelle du bassin versant

Cette étape 1 vise à établir un état des lieux global sur l'ensemble du bassin versant étudié à partir des données disponibles, en identifiant les principaux impacts cumulés liés à la présence de retenues.

Cette étape 1 se base sur des **données disponibles** sur le bassin versant : le réseau hydrographique, la délimitation du bassin versant et des sous bassins versants, la topographie du bassin versant, un recensement et un positionnement de l'ensemble des retenues et le maximum d'informations sur leurs modes de gestion (mode d'alimentation, mode de restitution dans les milieux aquatiques et dynamique temporelle...), le climat, l'hydrologie, l'état observé des milieux aquatiques... Des pistes pour récupérer de telles données sont disponibles dans la troisième partie de ce rapport (voir le Figure 10).

Cette étape 1, schématisée dans la Figure 5, commence par l'identification des **impacts cumulés qui pourraient être observés (potentiels) à cause des retenues présentes** sur le bassin versant (phase A), déterminés à partir de l'ensemble des impacts cumulés identifiés dans l'Esco. Ce premier aperçu des impacts cumulés potentiels permet de guider la suite de l'étude.

Cette identification est complétée par des observations du bassin versant comprenant :

- un **bilan des pressions** observables sur le bassin versant, pressions liées à la présence de retenues mais sans oublier

Pression « confondante »
Pression qui n'est pas due aux retenues mais qui peut interagir avec les impacts de celles-ci et qui doit donc être prise en compte dans l'étude

les autres **pressions « confondantes »** pouvant impacter de façon significative la ressource en eau et l'état des milieux aquatiques (phase B) ;

- un **bilan de l'état des milieux aquatiques** (phase C) pour l'ensemble de ses composantes : hydrologie, hydromorphologie, physico-chimie et biologie.

L'analyse croisée de ces trois phases (A, B et C) permet d'estimer les impacts cumulés **probables** des retenues sur l'ensemble du bassin versant.

Ensuite, en croisant ces effets cumulés probables avec **les enjeux** du bassin versant (phase D), il est alors possible d'identifier les **principaux impacts à surveiller** pour chaque sous bassin et d'établir une hiérarchisation des sous bassins versants selon le degré d'impact lié au cumul de retenues au regard des enjeux. Cette hiérarchisation permet également de déterminer si des sous bassins versants doivent faire l'objet d'investigations plus poussées (par acquisition de données notamment) lors de l'étape 2 de la démarche afin de mieux appréhender les impacts. Toutes ces phases sont décrites en détail ci-dessous.

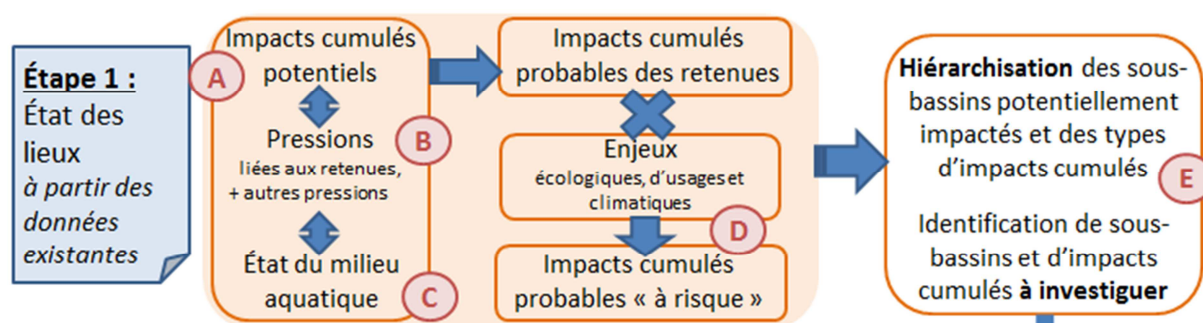


Figure 5 : schéma de l'étape 1 de la démarche : état des lieux sur le bassin versant

2.2.1 Identification des types de retenues présentes sur le bassin versant

Avant tout, il est essentiel d'identifier les retenues présentes sur le bassin versant. Il faut disposer d'un recensement le plus exhaustif possible des retenues présentes sur le bassin versant (voir paragraphe 4.1.2 et la fiche méthodologique n°1) et de leurs caractéristiques (notamment leur mode d'alimentation et de restitution de l'eau), ce qui souligne l'intérêt de la gestion partagée des données sur les retenues.

Ensuite, pour faciliter la suite de l'étude, il est intéressant d'identifier les types de retenues majoritairement présents et leur représentativité.

Les caractéristiques croisées à la typologie des retenues issue de l'Esco permettront d'identifier le type de chaque retenue présente sur le bassin parmi les 5 types proposés en fonction de leur position par rapport au cours d'eau et de leur mode d'alimentation.

Pour aller plus loin, nous proposons d'utiliser un logigramme avec une typologie plus détaillée (voir les Figure 16 et Figure 17), qui prend plus spécifiquement en compte le mode de gestion de la retenue. Ce logigramme permet d'**identifier le type de chaque retenue parmi les 23 types proposés. Ils ont été déterminés à partir des caractéristiques d'alimentation et de restitution des retenues (milieu, mode, période...)**. Chaque type possédant un ensemble d'impacts potentiels sur les milieux aquatiques différents. Toutes les données nécessaires à cette identification ne sont pas forcément disponibles pour chaque retenue. Il est donc nécessaire d'estimer au mieux le type de chaque retenue au vu des informations disponibles (il sera peut être nécessaire d'effectuer un recensement, celui-ci est détaillé dans l'étape 2, paragraphe 2.3.1).

Cette identification permet d'évaluer la présence de chaque type de retenue sur l'ensemble du bassin versant et d'identifier les types majoritaires (% de chaque type par rapport au nombre, à la surface totale des retenues ou à leur volume total). Cette typologie est utile pour évaluer l'impact cumulé **potentiel des retenues identifiées**, comme cela est expliqué dans la phase A ci-dessous.

2.2.2 Identification des impacts cumulés potentiels à partir de la typologie des retenues (phase A)

L'Esco a permis d'identifier l'ensemble des impacts cumulés que peuvent causer les retenues sur un bassin versant. Cette phase A consiste à identifier l'ensemble des **impacts cumulés potentiels des retenues**, c'est-à-dire ceux qui pourraient être observés sur le bassin versant à cause de chacune des retenues présentes.

« Impact potentiel »
Impact pouvant *a priori* affecter le milieu au vu des caractéristiques des retenues présentes.

Les Figure 18 et Figure 19 font un bilan des impacts cumulés **potentiels** induits par chaque type de retenues (en prenant en compte leurs caractéristiques et leur mode de gestion) sur les 4 grandes composantes des cours d'eau (l'hydrologie, l'hydromorphologie, la physico-chimie et la biologie), en prenant également en compte les changements globaux. Les types de retenue sont définis à partir du logigramme des Figure 16 et Figure 17 et estimés au mieux à partir des informations disponibles.

En utilisant ces tableaux, il est proposé de :

1. déterminer les impacts cumulés potentiels de chaque type de retenues identifié sur le bassin versant : chaque colonne du tableau correspond à un type de retenue, il convient donc de sélectionner les colonnes des retenues présentes sur le bassin versant ;
2. estimer les impacts cumulés les plus probables, c'est-à-dire ceux qui reviennent le plus souvent ou qui concernent les ouvrages de grande ampleur. Ces impacts cumulés potentiels sélectionnés ont plus de risques d'être observables sur le bassin versant considéré.

Cette liste permet d'avoir une **première idée** des impacts potentiellement observables sur le bassin versant (elle peut être détaillée par sous bassins versants, notamment lorsque la répartition des retenues n'est pas homogène). L'**existence in situ** de ces impacts potentiels va dépendre de nombreux paramètres (contexte, enchainement de retenues, climatologie...). Il faut donc par la suite confronter ces impacts potentiels aux **données de terrain** (phase B et C) pour évaluer si ces impacts sont **observables et significatifs** sur le bassin versant considéré, comme proposé ci-dessous. Cette phase peut donc servir de guide pour la suite de l'étude qui pourra analyser plus en détail les impacts cumulés potentiels identifiés.

2.2.3 Description des pressions liées ou non aux impacts sur les milieux aquatiques (phase B)

Cette phase B propose de faire le bilan **des pressions**, liées ou non aux retenues, qui s'exercent sur les milieux aquatiques. Son objectif étant de caractériser les impacts cumulés **probables** des retenues, c'est-à-dire les impacts observables/qui s'expriment sur le bassin versant.

Pour identifier les pressions qu'exercent les retenues sur les milieux aquatiques, nous proposons d'utiliser des **« indicateurs »** qui permettent de qualifier l'importance de ces pressions et qui sont associés *a priori* à des impacts cumulés des retenues. Nous proposons d'utiliser en première approche des indicateurs assez simples à mettre en œuvre. Ils sont regroupés dans deux listes

« Indicateur »
Calcul qui permet de qualifier, voire de quantifier, l'importance d'une pression ou d'un impact. Nous n'utilisons pas le terme indicateur tel que défini dans la DCE.

détaillées ci-dessous :

- une liste avec des indicateurs décrivant les pressions liées à la présence de retenues ;
- une liste avec des indicateurs sensibles à des pressions qui ne sont pas liées à la présence de retenue. Il est nécessaires de regarder les autres activités majeures impactant les milieux aquatiques, certaines pressions peuvent interagir avec les impacts cumulés des retenues et ne doivent donc pas être ignorées.

Investigation et caractérisation des pressions sur les milieux aquatiques liées aux retenues

Une liste d'indicateurs de pressions liées aux retenues est proposée dans le paragraphe 4.1.6 et dans les Figure 22, Figure 23 et Figure 24. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres indicateurs peuvent être utilisés s'ils sont pertinents.

Point d'attention : suivant le contexte, les indicateurs ne sont pas tous forcément pertinents et n'expliqueront pas dans tous les cas les impacts observés. Il faut bien les choisir.

Les indicateurs peuvent être calculés à l'échelle du bassin versant mais aussi à l'échelle des sous bassins, ce qui permet d'évaluer la **répartition** des pressions sur le bassin versant et de hiérarchiser les sous bassins. Il est important de bien préciser pour chaque indicateur calculé, s'il y a lieu, la zone géographique du bassin versant concerné et la période prise en compte pour effectuer ce calcul. Les résultats pourront être présentés sous forme de cartes localisant les différentes valeurs de l'indicateur sur l'ensemble des sous bassins versants. En présence de référence (voir le paragraphe 4.1.5) ou d'un gradient de pression, il sera possible de qualifier l'importance des modifications induites par les retenues sur la valeur calculée de l'indicateur : négligeable, moyenne, forte.

Attention : Comme explicité dans l'Esco l'interprétation de ces indicateurs peut être délicate et il faut rester prudent dans l'analyse de leurs résultats et ne pas trop s'avancer/sur-interpréter. Il est donc fortement conseillé d'utiliser **plusieurs indicateurs** pour chaque caractéristique fonctionnelle pour avoir une vision globale du bassin versant.

Investigation et caractérisation des pressions sur les milieux aquatiques non liées aux retenues

Il est nécessaire de regarder les autres activités majeures impactant les milieux aquatiques sur le bassin versant. En effet, certaines pressions non induites par des retenues peuvent interagir avec les impacts cumulés de ces dernières et doivent donc être prises en compte dans l'étude. Une liste de ces « autres » pressions est proposée dans le Figure 25. La liste proposée contient les principales pressions « confondantes » : les prélèvements en rivière et en nappe pour d'autres usages que l'alimentation des retenues, les pollutions.... Cette liste n'est pas exhaustive et toute pression pouvant interagir avec les impacts des retenues doit être ajoutée dans l'étude.

Nous ne proposons pas d'indicateur particulier pour évaluer ces pressions. Cependant, il est possible de s'inspirer des indicateurs concernant les pressions liées aux retenues proposés ci-dessus (les caractéristiques impactées étant proches) ou s'appuyer sur les études existantes ou les avis d'experts locaux.

2.2.4 Description de l'état des milieux aquatiques sur le bassin versant (phase C)

Cette phase C a pour objectif de décrire **l'état des milieux aquatiques**, en ce qui concerne son hydrologie, son hydromorphologie, sa physico-chimie et sa biologie. Elle doit mettre en évidence les **points « à surveiller »** sur le bassin versant ou sur certains sous bassins versants, tels que : des phénomènes d'eutrophisation, des assacs

récurrents, des modifications des structures des peuplements observés (algues/diatomées, végétaux, invertébrés, poissons) qui pourraient être modifiés par la présence de retenues...

Cette phase s'appuie sur les **observations existantes** de l'état des milieux aquatiques : surveillance DCE, suivis piscicoles... Nous proposons dans les Figure 26 et Figure 27 une liste **non exhaustive** d'indicateurs mais aussi d'observations qui peuvent être utilisés pour décrire cet état. Une partie des données peut être très ponctuelle (nombre de jours d'eutrophisation, nombre de jours d'assec ou de non-respect du/des DOE...), mais fournit tout de même des informations intéressantes pour caractériser l'état du bassin versant.

Il est important de bien préciser pour chaque indicateur calculé, s'il y a lieu, la zone géographique du bassin versant concerné et la période prise en compte pour effectuer ce calcul. Les résultats pourront être présentés sous forme de carte présentant les différentes valeurs de l'indicateur sur l'ensemble des sous bassins versants.

Cette phase C fournit donc un **bilan de l'état du bassin versant** et des sous bassins versants établit à partir des données disponibles, en localisant les zones où l'état est bon et celles où il peut être « moins que bon » ou critique. Les points « **à surveiller** » (ceux pour lesquels l'état du milieu est mauvais voire critique) sont à mettre en avant pour les investiguer avec attention dans la suite de la démarche.

2.2.5 Détermination des impacts cumulés « probables » des retenues qui impactent le bassin versant

Les trois premières phases de la démarche ont donc fourni :

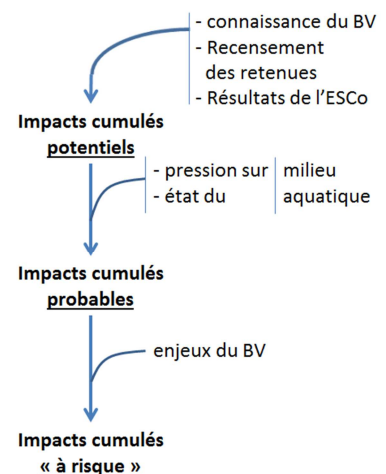
- des informations sur tous les impacts cumulés potentiels des retenues présentes (phase A) ;
- une évaluation (identification, localisation et qualification) des pressions liées ou non aux retenues (phase B) ;
- un bilan de l'état des milieux aquatiques en identifiant les points « à surveiller » (phase C).

Il faut alors croiser ces informations pour identifier les **impacts cumulés « probables »** qui s'expriment sur le bassin versant, c'est-à-dire les impacts cumulés potentiels pour lesquelles **un lien a pu être établi a priori** avec un indicateur de pression qui présente une forte modification ou un état des milieux aquatiques médiocre.

Il faut donc établir ce lien *a priori* entre les impacts cumulés potentiels et les indicateurs de pressions et l'état des milieux aquatiques. Un premier lien entre les indicateurs et les impacts cumulés est proposé dans les tableaux (Figure 26 et Figure 27). Lorsqu'un lien est identifié entre un impact cumulé potentiel et un indicateur d'état du milieu qui présente de fortes modifications, il est **probable** que cet impact cumulé « s'exprime » et soit significatif sur le bassin versant.

Ensuite, il est intéressant de qualifier l'importance de ces impacts cumulés probables : négligeable, moyen ou fort (si une référence est disponible sur le bassin versant, voir paragraphe 4.1.5). Pour cela, il faut se baser sur l'importance des modifications (induites par les retenues) des indicateurs en lien avec l'impact considéré (estimés lors de la phase B et C).

A l'issue de ces trois phases, on dispose donc d'une liste **des impacts cumulés probables** avec leur localisation sur le bassin versant et les sous bassins versants et, si possible, une estimation de leur importance.



2.2.6 Identifier les impacts cumulés « à risque » en croisant les impacts cumulés probables avec les enjeux du bassin (phase D)

Chaque territoire présente des enjeux qui lui sont spécifiques, qui peuvent être liés à la présence des retenues, et qu'il est important de prendre en compte pour évaluer le **niveau de risque (ou de gravité) des impacts cumulés**, c'est-à-dire lorsque l'impact cumulé probable peut provoquer des modifications importantes qui interfèrent avec les enjeux, ce qui est pénalisant pour le bassin versant.

Identifier et caractériser les enjeux sur le bassin versant

Les enjeux sur un bassin versant peuvent être nombreux et dépendent beaucoup du contexte et de la région considérée. Ils sont susceptibles d'évoluer dans le temps en fonction de la trajectoire des territoires. Ces enjeux doivent être **exprimés localement**, au sein des territoires à travers une concertation territoriale.

Nous proposons une liste d'enjeux, non exhaustive, sur la base de ceux qui ont été exprimés au cours des séminaires de travail dans la troisième partie de ce rapport (voir paragraphe 4.1.9).

Il convient donc de lister l'ensemble des enjeux existants sur le bassin versant étudié. Si certains de ces enjeux sont localisés (par exemple un pompage AEP à protéger), il faut identifier les zones concernées et les **localiser** sur le bassin versant. Il est intéressant pour la suite de **caractériser l'importance et/ou la sensibilité** de ces enjeux sur le territoire (comme pour les indicateurs) en les qualifiant de : négligeable, moyen ou fort.

Identification des impacts cumulés « à risque »

En croisant les enjeux des bassins, voire des sous bassins versants, avec les effets cumulés probables identifiés, il est possible de déterminer les **sous bassins versants « à risque »**, c'est-à-dire les sous bassins versants où les pressions et l'état du milieu sont critiques par rapport aux enjeux identifiés. Pour réaliser cette estimation, il est proposé de :

- identifier les liens entre les enjeux du bassin versant et les impacts cumulés probables identifiés, en justifiant le mieux possible ces liens en fournissant tous les arguments pris en compte ;
- réaliser un classement des risques de dégradation, lorsque cela est possible, en croisant l'importance des impacts cumulés probables avec l'importance des enjeux identifiés, pour qualifier l'importance du risque : négligeable, faible, moyen ou fort (voir encadré ci-dessous).

Chaque impact cumulé identifié se verra donc affecté une évaluation de son risque en fonction des enjeux du bassin versant (en revanche, chaque enjeu n'aura pas forcément de lien avec un impact cumulé).

Par exemple, s'il est constaté sur un bassin versant un réchauffement estival de l'eau (avec une importance moyenne) alors qu'un enjeu identifié est la préservation d'une espèce aquatique protégée d'eau froide (enjeu fort), il y a augmentation du risque d'extinction de l'espèce et l'impact cumulé « réchauffement estival » présente un risque « fort » sur ce bassin versant. L'impact des retenues sur la température de l'eau sera donc à surveiller/investiguer plus attentivement (impact cumulé à risque) que s'il n'y avait pas cet enjeu « espèce protégée ».

Identifier les impacts cumulés « à risque » permet donc d'identifier les impacts cumulés sensibles à surveiller sur la zone d'étude et de préciser si **des investigations plus poussées** doivent être menées sur le bassin versant pour mieux appréhender son état et son fonctionnement.

Qualifier l'importance du risque sur les bassins versants

Il est proposé de croiser l'importance des enjeux avec celle des impacts cumulés probables pour hiérarchiser les sous bassins versants vis-à-vis de l'importance du risque qu'un impact perturbe le milieu. Ce croisement peut se faire selon la proposition de la Figure 6. Ce tableau de croisement de critères proposé n'est qu'illustratif. Nous avons limité les niveaux de hiérarchisation, avec au final 4 niveaux : négligeable, faible, moyen, fort. Si aucun enjeu n'est mis en lien avec un impact cumulé, le risque est à considérer comme négligeable.

Figure 6 : tableau de croisements de qualification d'impact et d'enjeux pour hiérarchiser les sous bassins versants "à risque"

Évaluation du risque		Impact cumulé probable		
		négligeable	moyen	fort
Enjeux sur le bassin versant	négligeable	négligeable	faible	moyen
	moyen	faible	moyen	fort
	fort	moyen	fort	fort

2.2.7 Hiérarchisation des sous bassins impactés et des impacts à investiguer

Pour chaque caractéristique fonctionnelle du bassin versant (hydrologie, hydromorphologie, physico-chimie et écologie), on dispose donc de listes ou de cartes montrant la répartition des impacts cumulés « à risque » sur les sous bassins versants (croisant les indicateurs de pression et d'état avec les enjeux). Il est alors intéressant de hiérarchiser les impacts cumulés « à risque », et les paramètres qui seront impactés, pour déterminer s'il est utile de mener des investigations plus poussées sur certains sous bassins versants, en ciblant les paramètres ou les impacts cumulés à suivre.

Ainsi, certains sous bassins peuvent être ciblés pour être **étudiés en priorité** s'ils présentent des enjeux et/ou des effets potentiels importants, ou s'il manque des données pour pleinement rendre compte des impacts cumulés liés aux retenues sur ce sous bassin versant. Les sous bassins ciblés vont faire l'objet d'études plus poussées lors de l'étape 2 de la démarche pour évaluer et quantifier plus finement les impacts cumulés des retenues sur ces zones.

Les sous bassins versants ciblés doivent être sélectionnés avec méthode en gardant à l'esprit le reste de la démarche. En choisissant des sous bassins versants représentatifs du bassin versant, les résultats obtenus sur ces sous bassins pourront être transposés par la suite à d'autres sous bassins. Par contre, si certains sous bassins présentent des caractéristiques très particulières, il faudra s'y intéresser spécifiquement.

2.2.8 Conclusion de l'étape 1 « état des lieux »

Cette première étape permet donc de faire un **bilan global des connaissances** sur le bassin versant. Elle permet d'identifier les **effets cumulés probables des retenues**, de proposer une évaluation de **l'importance des impacts cumulés probables** à considérer sur les sous bassins versants, d'établir une liste **des enjeux sur le bassin versant** et d'identifier les **impacts cumulés « à risque »**. Cet état des lieux est plus ou moins complet selon les informations disponibles sur le bassin versant. Si les informations à disposition sont suffisantes, des

« valeurs guides » peuvent être proposées pour certains indicateurs dès la fin de cette étape (voir le paragraphe 2.4.3).

Cette étape 1 vient guider l'étape 2 en ayant **identifié et ciblés** les paramètres ou les sous bassins versants qui nécessitent d'être investigués plus en détail.

2.3 L'étape 2 de la démarche : investigations ciblées pour préciser les processus en jeu et l'importance de certains impacts cumulés

Lors de l'étape 1, des indicateurs ont permis de caractériser les impacts cumulés probables des retenues à partir **des données disponibles**. Cette deuxième étape est optionnelle et doit être mise en œuvre lorsqu'il a été identifié dans l'étape 1 un besoin d'acquérir de nouvelles informations ou de préciser les connaissances sur des sous bassins versants ciblés. Il s'agit de conduire une **étude plus poussée** que dans l'étape précédente, en collectant de **nouvelles données** via des études de terrain et/ou en réalisant des **modélisations** pour mieux quantifier les impacts cumulés à risque et leurs processus, mieux décrire leurs caractéristiques (causes et/ou conséquences) ou leur saisonnalité et d'identifier plus précisément le rôle des retenues et de leurs modes de gestion.

Les résultats obtenus à l'issue de cette étape sur les sous bassins versants ciblés peuvent ensuite être transposés à d'autres sous bassins versants semblables, voire dans certains cas à l'ensemble du bassin versant. Il faut donc avoir choisi judicieusement les sous bassins versants étudiés pour faciliter cette possible transposition. Cette transposition permet de limiter les investigations de terrain aux sous bassins/paramètres ciblés dans l'étape 1.

Cette étape est à réaliser **pour chaque impact cumulé, pour chaque paramètre** ou pour chaque sous bassins versants **identifiés dans l'étape 1** pour être investigué plus en détail.

Cette deuxième étape fournit donc une **meilleure évaluation de la localisation et de l'importance** des principaux impacts cumulés liés aux retenues sur l'ensemble du bassin versant, avec une information quantifiée (mesurée, modélisée ou extrapolée) et localisée sur les impacts cumulés étudiés.

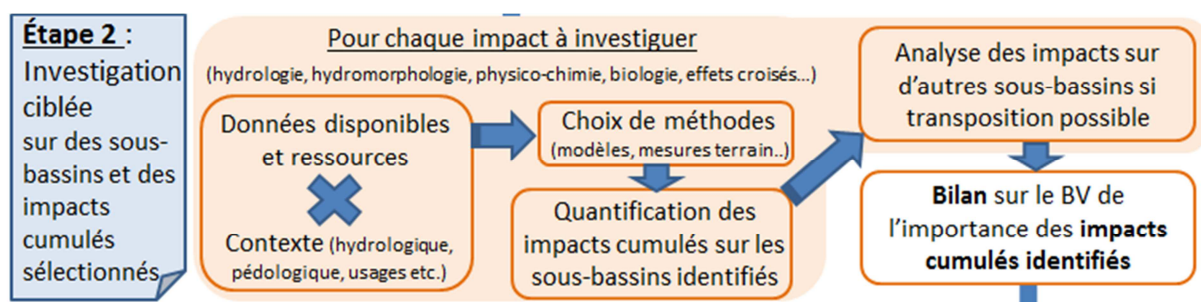


Figure 7 : schéma de l'étape 2 de la méthode générale : investigation sur des sous bassins ciblés

2.3.1 Choix des méthodes

Un ensemble d'outils, regroupés dans des fiches méthodologiques, est mis à disposition dans la partie 1 du rapport pour faciliter la mise en œuvre de cette étape. Les outils qui y sont proposés permettent d'acquérir de nouvelles connaissances pour préciser certains impacts. Ces nouvelles informations pourront être **acquises via des campagnes de terrain** pour mieux caractériser l'état du milieu et/ou **simulées via des modélisations** pour mieux représenter les dynamiques spatiales et temporelles des processus. Les fiches regroupent les outils identifiés comme potentiellement intéressantes dans l'ESCO et sont classées par thématiques :

- caractéristiques des retenues ;
- hydrologie et modélisation ;

- hydromorphologie ;
- physico-chimie ;
- écologie et fonctionnalité des habitats.

Une rapide description de chaque fiche thématique est proposée dans les paragraphes ci-dessous.

Ce recensement de méthodes n'est pas exhaustif et d'autres méthodes pourront être utilisées. De plus, un certain nombre d'outils proposés va devoir être adapté au contexte local ou à la thématique des impacts cumulés des retenues, ce qui nécessitera un travail non négligeable de mise en œuvre.

Il faut choisir les méthodes les plus adaptées aux impacts cumulés à investiguer, au contexte du bassin versant, mais aussi au temps, aux moyens et aux données disponibles pour réaliser ces investigations.

Dans le cas où certaines méthodes choisies lors de l'étape 2 sont des modélisations, ces modélisations pourront être réutilisées dans l'étape 3 lors des tests de différents scénarios. Il est donc important d'avoir pensé à l'avance aux deux objectifs possibles de la modélisation lors du choix de la méthode à utiliser : à la fois la précision du fonctionnement du bassin lors de l'étape 2 et étudier la sensibilité du bassin à l'implantation de nouvelles retenues (et tests de différents scénarios) lors de l'étape 3.

Fiche n°1 : Caractéristiques des retenues existantes sur le bassin versant

Comme cela peut être constaté lors de l'étape 1, les données disponibles pour caractériser l'ensemble des retenues présentes sur le bassin versant sont souvent incomplètes, notamment en ce qui concerne la gestion de ces retenues : leurs modes d'alimentation, de restitution et les dynamiques temporelles. Or ces éléments sont essentiels pour estimer l'impact des retenues sur le milieu.

Des investigations peuvent donc être menées pour préciser certaines caractéristiques des retenues existantes, pour compléter les connaissances disponibles (bilan réalisé dans la partie 1) et déterminer les données essentielles à acquérir pour approfondir la connaissance du bassin versant ou pour mettre en place les outils choisis. La liste des données « utiles » peut servir de base à la réflexion mais elle est bien trop détaillée pour la caractérisation des retenues existantes. Il faut se concentrer sur l'acquisition des données nécessaires pour appliquer les méthodes avec le degré de sophistication qui paraît nécessaire (et suffisant) pour appréhender la question sur le bassin versant (voir paragraphe 4.1.2 sur la caractérisation des retenues).

L'ensemble des outils proposés pour caractériser les retenues, issu notamment de la bibliographie, est donc présenté dans la fiche méthodologique n°1.

Fiche n°2 : Hydrologie et modélisation

Pour compléter les informations sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant ou des sous bassins versants, des investigations de terrain peuvent être réalisées mais elles peuvent nécessiter un investissement important. Comme l'a montré l'Esco, l'estimation de l'impact des retenues à partir de modèles constitue une approche généralement utilisée dans la littérature scientifique. Le recours à la modélisation est toutefois confronté à un double défi :

- représenter l'ensemble des retenues présentes dans le bassin, avec leurs caractéristiques physiques individuelles (localisation, surface, volume), leurs usages, leur mode de gestion...
- simuler le fonctionnement de chaque retenue et leurs interactions le cas échéant.

Le choix du modèle à utiliser sur un bassin versant pour évaluer l'impact cumulé des retenues sur les variables hydrologiques doit donc être pertinent au vu de l'analyse dont on dispose des interactions entre les retenues et des résultats attendus, notamment les interactions entre les compartiments.

L'ensemble des outils proposés pour préciser l'hydrologie du bassin versant, issu notamment de la bibliographie, est présenté dans la fiche méthodologique n°2.

Fiche n°3 : Hydromorphologie

Quelques méthodes existent pour étudier les processus hydromorphologiques dans un cours d'eau, mais elles sont peu nombreuses et aucune n'a été développée pour étudier les impacts cumulés des retenues. Les outils proposés dans la fiche nécessitent donc une adaptation plus ou moins importante pour pouvoir être utilisés dans le cadre des études d'impacts cumulés des retenues sur les milieux aquatiques.

L'ensemble de méthodes proposées pour étudier les processus hydromorphologiques, issues notamment de la bibliographie, est présenté dans la fiche méthodologique n°3.

Fiche n°4 : Physico-chimie

Les études des processus physico-chimiques ne vont concerner que les retenues impactant les milieux aquatiques, donc celles ayant une restitution dans le milieu, ce qui correspond principalement aux retenues de type 4 et 5 (et certaines de type 2 et 3). Leurs impacts dépendront fortement de l'importance de la restitution (permanente ou temporaire, avec quelle saisonnalité, avec quelle importance de la dilution de l'eau restituée dans le milieu récepteur...), du mode de restitution (eau de surface ou de fond de retenue, importance du brassage lors de la restitution...) et de la densité et de la proximité des retenues sur le bassin versant.

Un ensemble d'outils existants, plus ou moins élaborés, peuvent être adaptés à l'étude de l'impact cumulé des retenues, adaptation qui demandera un travail plus ou moins complexe selon les méthodes et les résultats attendus. L'ensemble de méthodes proposées pour préciser les processus physico-chimiques, issues notamment de la bibliographie, est présenté dans la fiche méthodologique n°4.

Il peut être utile d'acquérir certaines informations supplémentaires pour faciliter la mise en œuvre des méthodes proposées : prendre en compte le mode de restitution de l'eau dans le milieu, les modalités de gestion débit réservé/vidange, le temps de résidence, mesurer une distance de retour...

Fiche n°5 : Ecologie et fonctionnalité des habitats

Un ensemble d'indicateurs, développés pour répondre à la directive cadre européenne sur l'eau, donne un aperçu de l'état des milieux aquatiques mais certains de leurs paramètres peuvent fournir des informations plus précises et utiles pour l'étude de l'impact cumulé des retenues. D'autres outils plus complexes semblent pouvoir être adaptés pour ces études mais avec un investissement et une expertise plus importante.

L'ensemble des méthodes proposées pour étudier l'écologie du bassin versant, issues notamment de la bibliographie, est présenté dans la fiche méthodologique n°5.

2.3.2 Investigation de certains impacts cumulés des retenues sur les sous bassins versants ciblés

Les méthodes choisies doivent être mises en œuvre sur les sous bassins versants ciblés, ou lorsque cela est possible sur l'ensemble du bassin versant. Cette étape permet de préciser les certains paramètres et le **fonctionnement du bassin versant**. De la même façon que pour les indicateurs, les résultats doivent permettre de **préciser (notamment via des cartes) la répartition et l'importance des impacts cumulés sur le bassin versant**, ainsi que leur éventuelle saisonnalité.

2.3.3 Transposition sur d'autres sous bassins

Pour chaque impact cumulé investigué, les résultats obtenus sur quelques sous bassins peuvent être transposés à d'autres sous bassins non étudié jusque-là (pour l'impact considéré) ou à l'ensemble du bassin versant. Cette transposition se basera principalement sur du dire d'expert car il faut :

- comprendre le fonctionnement global du bassin versant et de ses sous bassins ;
- connaître les déterminants principaux des impacts cumulés observés (type ou densité de retenues ou proximité des retenues ou saisonnalité et importance des prélèvements d'eau...);
- être en mesure de faire l'hypothèse qu'un impact cumulé étudié sur un sous bassin versant peut se retrouver et avoir des effets assez similaires dans les sous bassins versants présentant des caractéristiques semblables (topographies, densité de retenues...), notamment concernant les déterminants principaux des impacts cumulés observés.

Ainsi, certains sous bassins versants non explorés pourront être identifiés à risque. Ces transpositions permettront d'avoir une **vision globale** des impacts sur les bassins-versant.

2.3.4 Conclusion de l'étape 2 « investigation ciblée »

Cette étape 2 permet de préciser les réponses du bassin versant aux principaux impacts cumulés identifiés tout en ayant limité les investigations à des paramètres/sous bassins ciblés. À l'issue de cette étape, on dispose **d'une vision globale des principaux impacts cumulés** sur le bassin versant, avec la répartition de ces impacts sur les sous bassins versants et leur quantification, pour toutes les composantes des milieux aquatiques (hydrologie, hydromorphologie, physico-chimie et écologie). Si les informations à disposition sont suffisantes, des « valeurs guides » peuvent être proposées pour certains indicateurs dès la fin de cette étape (voir le paragraphe 2.4.3).

2.4 L'étape 3 de la démarche : test de scénarios de gestion pour définir des zonages et des valeurs guides sur le bassin versant

La troisième étape consiste à tester des scénarios de gestion et d'aménagement des retenues sur le bassin versant pour étudier la sensibilité du milieu aux modifications induites **par de nouvelles retenues (projets)** et localiser les zones fortement impactées ou « sans risque » vis-à-vis d'enjeux particuliers. Cette étape est schématisée dans la Figure 8. Elle doit permettre d'identifier des **valeurs guides** pour les indicateurs, permettant de traduire des degrés d'équipement maximal en retenues acceptables sur le bassin versant et faire des **recommandations** pour les nouveaux projets, concernant notamment leur implantation ou leur mode de gestion. Les résultats de cette étape pourront donc fournir des éléments de planification sur le bassin versant.

Lorsque l'étude à l'échelle du bassin versant est disponible, toute étude de l'impact cumulé **d'un projet** de retenue devra **respecter au mieux** les zonages, les valeurs guides et les recommandations issues de cette démarche.

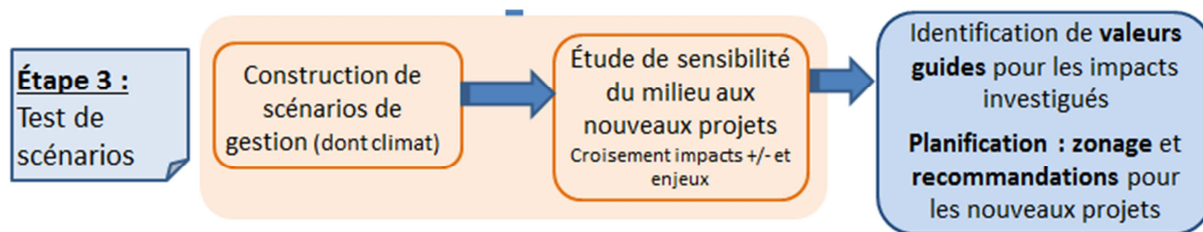


Figure 8 : schéma de l'étape 3 de la démarche : test de scénarios et recommandations

2.4.1 Construction de scénarios d'aménagement et de gestion

L'objectif de cette étape est de tester différents scénarios :

- **d'implantation de nouvelles retenues** en variant leur localisation : Est-ce une pression supplémentaire sur un bassin déjà à risque de construire de nouvelles retenues ? quelle évolution des pertes par évaporation et infiltration liées à la construction des retenues ? quelle évolution du débit du bassin versant suite à ces constructions ? au contraire, est-ce une zone refuge car peu impactée par rapport aux autres sous bassins versants ? Quel positionnement de l'ouvrage afin d'optimiser les capacités de remplissage ? etc. ;
- de **gestion de nouvelles retenues** : quelle est l'influence du remplissage des nouvelles retenues, et de sa période, sur l'hydrologie ? quel est le gain pour l'écosystème de la mise en place de substitution ? etc.

Les scénarios à tester peuvent aussi s'intéresser à d'autres thématiques, si celles-ci sont en liens avec les enjeux définis sur le bassin versant ou si elles peuvent modifier les impacts liés à la présence de retenue sur le bassin versant. Par exemple, peuvent être testés :

- l'influence des changements d'occupation du sol (changement d'assolement, d'humidité du sol...) ;
- l'influence de la restauration (ou de la destruction) de zones humides sur le bassin versant : quelle évolution de l'hydrologie et de la physico-chimie sur le bassin versant ?
- l'influence du changement climatique : quelle évolution de la disponibilité de la ressource en eau à long terme ? le changement climatique va-t-il faire évoluer les valeurs guides (voir paragraphe 2.4.3) ou les fera atteindre « plus tôt » que prévu dans le scénario d'équipement ?
- etc.

2.4.2 Étude de sensibilité du milieu

Pour évaluer ces scénarios, il est préférable d'utiliser les indicateurs et les modélisations mis en place dans les deux étapes précédentes, en faisant varier leurs paramètres pour correspondre aux scénarios à tester. Il convient ensuite de comparer les résultats **avant et après** les modifications, notamment avant et après les constructions de nouvelles retenues, pour évaluer la sensibilité du milieu aux différents aménagements et évaluer, selon les enjeux du territoire, quels sont les aménagements à **privilégier**.

Exemple : simulation de divers scénarios de restauration d'étangs anciennement présents sur des sous bassins versants agricoles de la Seine (Passy, Garnier *et al.*, 2012) explicité dans le rapport de l'Esco, chapitre 5, p. 86.

2.4.3 Identification de valeurs guides pour les impacts investigués

Des « **valeurs guides** » peuvent être proposées pour certains indicateurs pour décrire l'ampleur des différents impacts investigués. Ces valeurs guides doivent permettre d'évaluer le **degré d'équipement en retenues**

acceptable sur le bassin versant, compte tenu de leurs impacts. Ces valeurs guide peuvent ainsi permettre de guider les gestionnaires sur les possibilités d'implanter de nouvelles retenues sur un territoire.

La notion de « **degré d'équipement acceptable** » est à définir localement :

- via des discussions entre les différentes instances de concertation et les acteurs de la gestion de l'eau. Cette possibilité est assez simple à mettre en œuvre mais reste arbitraire. Elle peut cependant permettre de définir des valeurs guide dès l'étape 1 de la démarche.
- via des modélisations testant la sensibilité du milieu suite à l'implantation de retenues, en déterminant à partir de quelle valeur de l'indicateur le milieu est dégradé. Cette deuxième possibilité est moins arbitraire mais encore difficile à mettre en œuvre (les modélisations actuelles ne permettant pas de faire un lien entre les évolutions de toutes les composantes des milieux aquatiques : hydrologie, biologie, physico-chimie...).

Une valeur guide pour un indicateur peut être obtenue à partir :

1. d'une valeur de l'indicateur calculée ou modélisée sur un sous bassin présentant le degré d'équipement induisant des impacts considérés comme acceptables ;
2. d'une gamme de valeur de l'indicateur, obtenue sur des sous bassins présentant un gradient de degré d'équipement en retenues, la valeur guide de l'indicateur est alors définie en fonction de l'impact considéré comme acceptable.

La première façon de procéder, basée sur une unique observation est plus simple à réaliser mais moins fiable que la deuxième façon qui est basée sur un gradient d'observation plus robuste.

Il est fortement recommandé d'arriver à proposer des valeurs guides pour plusieurs indicateurs, en essayant de couvrir le plus de composantes différentes des milieux : hydrologie, hydromorphologie, physico-chimie ou biologie.

Il est important que **les valeurs guides des indicateurs soient fixées localement** car ces valeurs dépendent des caractéristiques naturelles des systèmes, des types et de la répartition des retenues, ainsi que enjeux propres à chaque bassin. C'est pour cette raison qu'aucune **valeur seuil** à ne pas dépasser, traduisant directement un degré d'équipement en retenues, n'est proposée dans ce rapport.

À titre d'exemple, le SDAGE Adour Garonne 2016-2021 définit dans son annexe la « densité excessive de plans d'eau » à partir de deux seuils au-dessus desquels les bassins versants sont considérés comme suréquipés :

- le volume cumulé des plans d'eau sur le bassin versant ne doit pas dépasser la moitié des pluies efficaces en année sèche quinquennale (estimé sur la base d'une profondeur moyenne des plans d'eau de un mètre et d'une cartographie élaborée par le préfet) ;
- la densité de plans d'eau doit être inférieure à 3 retenues par km² (le problème de cet indicateur est qu'il évolue selon la taille du bassin versant pris en compte).

Il faut cependant noter qu'une réflexion est en cours dans ce bassin pour réviser ces seuils dont les valeurs ne paraissent pas toujours pertinentes et proposer un indicateur ou un corpus d'indicateurs robuste, pertinent pour toute la région et qui puisse être opposable.

2.4.4 Zonage et recommandation pour les nouveaux projets

A partir des résultats de l'étape 2 et l'étape 3, il est possible de localiser sur le bassin versant les **zones** les plus « à risque » - pour chaque impact cumulé principal identifié dans l'étape 1 - ou les zones les moins impactées par la présence de retenues. A partir de ces zonages et des valeurs guides, il est possible de faire des **recommandations** concernant les futures retenues. Ces recommandations peuvent porter sur :

- la possibilité ou non de construction de nouvelles retenues sur les sous bassins versants : en délimitant des zones où construire les nouvelles retenues ou des zones à protéger des constructions, en suggérant les types de retenues qui peuvent être construites (conseiller des modes d'alimentation ou de restitution), en préconisant des modes de gestion pour les nouvelles retenues (période d'alimentation et de restitution), etc. ;
- la réalisation de l'étude des impacts cumulés pour les projets de création de retenue : les résultats de cette étude peuvent guider l'étude des impacts cumulés **des projets** et de l'alléger en ciblant les compartiments/caractéristiques à investiguer et ceux qui présentent un risque négligeable et n'ont pas nécessité à être investigués.

Par exemple, si l'effet température est identifié « à risque » sur le sous bassin versant du projet, il peut être préconisé que le pétitionnaire étudie l'impact des nouvelles retenues sur la température et qu'il adapte les dispositifs de restitution de sa retenue dans les milieux aquatiques pour limiter son impact. Sur les bassins non identifiés « à risque » le pétitionnaire pourra ne pas avoir à étudier l'effet température dans son étude d'impact cumulé (en explicitant tout de même clairement les arguments de l'étude du bassin versant lui permettant de ne pas étudier la température).

Ces zonages et recommandations doivent être discutés et validés par l'ensemble des instances de concertation du territoire.

2.5 Conclusion de l'étude à l'échelle du bassin versant

La démarche proposée permet donc de faire **un bilan global sur le bassin versant** sans forcément investiguer chaque sous bassin versant et en optimisant les acquisitions de nouvelles données. Elle permet de faire des zonages et des recommandations pour les futurs aménagements. L'étude à l'échelle du bassin versant est particulièrement utile pour faire de la planification sur le bassin versant.

Les zonages et les recommandations permettent de guider et cadrer les études de projet de création de nouvelles retenues, qui devront être compatibles avec les valeurs guides déterminées. La démarche au niveau du bassin versant peut, s'il n'y a pas d'effet notable attendu, écourter l'étude de l'impact cumulé du projet de retenue (par exemple dans le cas d'une retenue de substitution de faible volume). Cette décision devra faire l'objet d'une discussion entre les instances de concertation, en même temps que seront fixés les zonages et recommandations suite à l'étude du bassin.

En identifiant le/les sous bassin(s) versant(s) « à risque », l'étude du bassin pourrait aller plus loin et faire des recommandations sur la gestion et l'optimisation des retenues existantes (retrouver une utilité pour les retenues qui n'ont plus d'usage ou proposer des remplacements). Ce n'est cependant pas l'objet de ce rapport.

L'étude du bassin versant ainsi que l'ensemble des données utilisées doivent être mises à disposition. Tout porteur de projet de retenue doit pouvoir s'appuyer sur les résultats de l'étude du bassin, en utilisant ses zonages et ses recommandations mais aussi ses données et ses modélisations, pour réaliser l'étude de l'impact cumulé de son projet.

3. L'étude de l'impact cumulé à l'échelle d'un projet de retenue

Ce deuxième chapitre concerne l'étude de l'impact cumulé des retenues à réaliser à l'échelle du projet de création de retenue, que nous appelons par la suite « étude de projet ». Dans l'étude de projet, le pétitionnaire doit présenter les impacts cumulés de son projet avec **les autres projets de création de retenue** en préparation à proximité. Il s'agit d'évaluer les modifications que ces créations de retenues pourront induire sur les milieux aquatiques. Cette étude doit être « **proportionnée à l'importance du projet** » et permettre, entre-autre, de justifier les choix du pétitionnaire concernant le type de retenue, sa localisation et son mode de gestion...

Pour un pétitionnaire, à l'échelle de son projet de retenue, deux cas de figure peuvent se présenter :

- Une étude à l'échelle du bassin versant existe et a été réalisée en utilisant la démarche proposée dans le chapitre 1 de ce rapport ;
- Aucune étude de l'impact cumulé des retenues sur le bassin versant n'existe.

Ce chapitre propose un cadre pour réaliser cette étude de projet dans chacun des cas de figure.

3.1 Réaliser « l'étude de projet » dans le cas où l'étude à l'échelle du bassin versant existe

Si l'étude à l'échelle du bassin versant est disponible, le projet de création de retenue doit alors **respecter les zonages et les recommandations** issus de l'étude du bassin. Le pétitionnaire doit montrer si l'implantation proposée et le nouveau volume stocké par son projet de nouvelle retenue (cumulé aux autres projets de retenues à proximité) vont impacter le bassin versant et si ces impacts supplémentaires permettront toujours de **respecter les valeurs guides** éventuellement définies dans l'étude du bassin. Les recommandations issues de l'étude du bassin permettent au pétitionnaire de **cibler les paramètres à étudier** - car présentant un impact cumulé probable important - et de ne pas s'attarder sur les paramètres ne présentant pas d'impact cumulé significatif en justifiant ce choix en se référant aux résultats de l'étude du bassin.

Le pétitionnaire devra donc récupérer les informations ayant permis de réaliser l'étude du bassin pour s'appuyer sur les résultats de celles-ci et apporter les modifications nécessaires à l'évaluation de son projet.

Pour réaliser l'étude de projet, il est recommandé de suivre le même déroulé que la démarche, en s'appuyant directement sur les résultats de l'étude de bassin :

1. Faire un état des lieux du bassin versant du projet en faisant :
 - un bilan des recommandations et des zonages issus de l'étude du bassin versant concernant le sous bassin versant où est implanté le projet et une sélection des impacts cumulés probables « à risque » pour lesquels il faudra investiguer les modifications induites par le(s) projet(s) selon les résultats de l'étude du bassin versant (en précisant le contexte particulier du projet et en rappelant les impacts cumulés qui ne seront pas investigués).
 - une délimitation de la zone à étudier autour du projet et en sélectionnant les projets de retenues à prendre en compte autour du projet du pétitionnaire

- un bilan de toutes les informations concernant les projets de retenues à prendre en compte
- 2. Compléter ou préciser les résultats de l'étude du bassin versant avec les éventuelles mesures complémentaires recommandées.
- 3. Évaluer la sensibilité du milieu aux nouveaux projets en utilisant les modélisations mises en œuvre dans l'étude du bassin mais en y ajoutant les projets de retenues connus. Etudier comment évoluent les indicateurs par rapport aux valeurs guides proposées dans l'étude du bassin, et montrer s'il y a des bénéfices pour le milieu (amélioration des valeurs des indicateurs), c'est-à-dire si les impacts sont positifs ou négatifs. Enfin, justifier les choix faits concernant le type de retenue, sa localisation et son mode de gestion proposés pour le projet du pétitionnaire.

3.2 Réaliser « l'étude de projet » dans le cas où l'étude du bassin versant n'existe pas

S'il n'existe pas d'étude des impacts cumulés des retenues à l'échelle du bassin versant, le pétitionnaire devra **adapter la démarche** de l'étude du bassin à son échelle plus réduite. Le premier point problématique est de délimiter le bassin versant sur lequel réaliser l'étude.

3.2.1 Déterminer la taille du bassin versant à étudier autour du nouveau projet

Il est nécessaire de définir la taille du bassin versant à étudier, qui est appelé « bassin versant d'étude » par la suite, autour du bassin versant d'alimentation de la future retenue, en incluant dans la zone d'étude les autres projets de création de retenues connus. Il n'y a pas de méthode simple pour déterminer la taille du bassin d'étude.

La taille appropriée du bassin versant à étudier peut dépendre :

- des caractéristiques de la retenue : de la taille du projet, de sa localisation sur le bassin versant, de la taille de son bassin versant d'alimentation, du type de retenue... ;
- des caractéristiques de la zone impactée par le projet de retenue : milieu(x) impacté(s) (nappe et ses écoulements, cours d'eau, zone humide...), distance d'impact à l'amont et à l'aval de l'ouvrage... ;
- du contexte local : géologie, climatologie de la région, relief du bassin versant... ;
- des pressions identifiées autour du projet : retenues déjà présentes sur le bassin versant, pressions agricoles ou industrielles, autres prélèvements... ;
- des autres projets connus à proximité et dont les impacts pourraient se cumuler aux impacts du projet du pétitionnaire.

Dans quel périmètre réaliser le cumul d'impact avec d'autres projets lorsqu'il n'y a pas d'étude du bassin ?

L'étude doit être « **proportionnée à l'importance du projet** » (article R181-14). C'est la notion de « distance d'influence » des impacts cumulés de la retenue sur le milieu impacté qui peut guider la délimitation du périmètre d'étude. Il faut se poser les questions : jusqu'à quelle distance aval le projet de retenue et son éventuel cumul avec d'autres projets vont impacter les milieux aquatiques ? Jusqu'à quelle distance amont le projet pourra se cumuler aux autres projets et impacter les milieux aquatiques ? Ces distances ne pourront être estimées qu'*a priori* pour délimiter la zone d'étude, puisque c'est l'objectif de l'étude de déterminer ces impacts.

Il faut parfois voir un peu plus large que la zone hydrologiquement impactée pour également prendre en compte les impacts sur la morphologie, la physico-chimie et l'écologie du cours d'eau (ex: conservation, espèces patrimoniales...). Mais il faut parfois étudier une zone plus limitée que le bassin versant d'alimentation de la retenue si ce dernier est de très grande taille. Plusieurs pistes sont proposées pour estimer la surface minimale du bassin versant à étudier en fonction du type de retenue qu'il est prévu de construire :

- Retenue collinaire : utiliser par exemple la surface : la taille du bassin versant d'étude > x fois (x : chiffre à déterminer) la taille du bassin versant de la retenue
- Retenue en dérivation : utiliser le ratio débit dérivé/module ou QMNA5
- Retenue en dérivation et barrage : proposer une limite amont ou aval pour la zone d'étude lorsque le bassin versant d'alimentation de la retenue est de très grande taille (surface à définir comme pour une retenue collinaire)
- Autre projet de création de retenue : surface du bassin versant d'étude déterminée plus ou moins xx% de surface du projet pour prendre en compte les éventuels autres projets à proximité ?

Il faut connaître des valeurs caractéristiques du régime hydrologique du cours d'eau, ce qui peut être compliqué en tête de bassin versant ; de plus, le module rapporté à l'unité de surface diffère selon le climat (donc l'altitude), la géologie ou la taille du bassin versant, il faut donc être prudent lors de son utilisation.

3.2.2 Adapter la démarche de l'étude du bassin à une échelle réduite

Pour réaliser l'étude des impacts cumulés à l'échelle du projet mais sans étude du bassin, nous proposons de se baser sur la démarche de l'étude du bassin mais en l'allégeant, en l'adaptant à une échelle et des moyens réduits. Il s'agit de faire une analyse simplifiée des enjeux et des effets attendus à partir de l'état du sous bassin d'étude seulement, comme expliqué sur le schéma de la Figure 9 et ci-dessous (pour le détail des différentes étapes et phases, se reporter à la description de la démarche dans la partie 1 sur l'étude du bassin) :

1. Réaliser l'étape 1 « état des lieux » à partir **des données disponibles** sur la zone étudiée, en reprenant les différentes phases :
 - a. identifier les **impacts cumulés potentiels** des projets et des retenues présentes sur le bassin versant d'étude ;
 - b. identifier **les pressions existantes** et évaluer leur importance ;
 - c. évaluer **l'état du milieu** à partir des données disponibles ;

→ Croiser les phases a, b et c pour déterminer les **impacts cumulés probables** des retenues sur le bassin versant.

 - d. prendre en compte les enjeux, s'il y en a d'identifiés sur le bassin versant d'étude, pour déterminer les **impacts cumulés « à risque »** et évaluer leur importance ;
 - e. identifier s'il y a des impacts cumulés et/ou des paramètres qui nécessitent un approfondissement des connaissances sur la zone d'étude.
2. Si cela s'avère nécessaire, il est recommandé de réaliser l'étape 2 de la démarche pour mieux évaluer les impacts cumulés et les paramètres pour lesquels il y a un manque de données.
3. Enfin, réaliser une étape 3 simplifiée mais permettant tout de même d'évaluer les **évolutions du milieu suite à l'implantation** des nouvelles retenues, en prenant en compte les autres projets de retenues identifiés dans la zone d'étude, pour **valider les scénarios d'implantation et de gestion** de ces projets, en montrant les bénéfices pour les milieux aquatiques, c'est-à-dire les impacts positifs et négatifs de son projet.

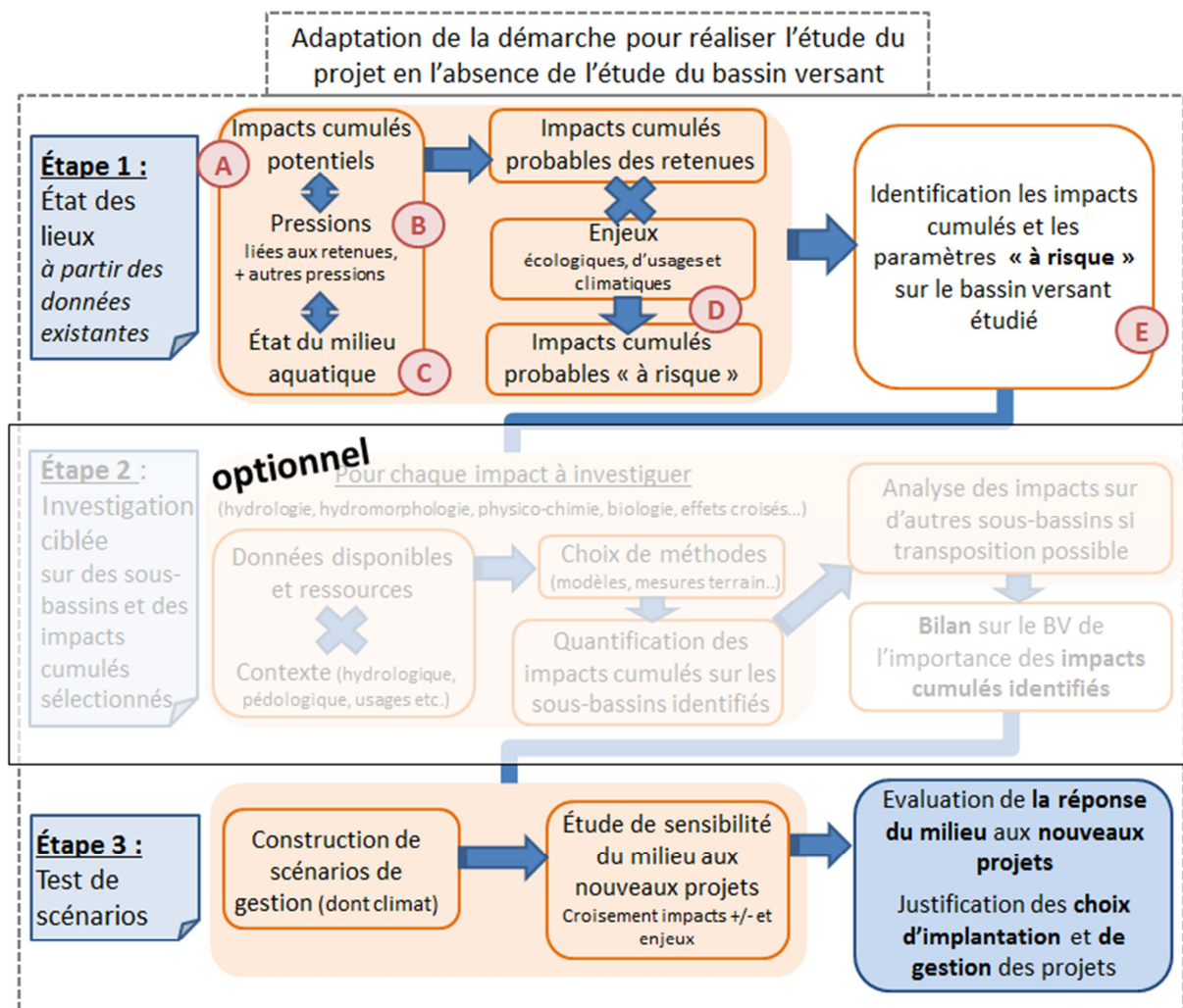


Figure 9 : Schéma de la démarche adaptée à l'étude des impacts cumulés pour les projets de retenues

3.2.3 Trouver une référence pour les indicateurs

Comme pour la démarche de l'étude du bassin, il est nécessaire de trouver une zone qui fournira des valeurs « de référence » pour les indicateurs auxquels comparer les valeurs obtenues sur le bassin versant étudié (voir paragraphe 4.1.5). C'est un problème bien plus complexe à résoudre que pour l'étude du bassin puisque la zone d'étude et les données sont bien plus restreintes.

Des comparaisons pourraient être effectuées si d'autres études de l'impact cumulé des retenues ont été réalisées sur des sous bassins versants proches. Sinon, des comparaisons pourraient être effectuées avec des sous bassins versants proches du bassin versant étudié mais ne comportant pas ou peu de retenues (si les données sont disponibles). Si aucune donnée, ni étude n'est disponible, il convient de choisir d'utiliser des indicateurs traduisant le plus directement possible l'état des milieux aquatiques et l'influence des retenues (par exemple les bio-indicateurs DCE, même si ceux-ci ne sont pas les mieux adaptés/sensibles à la présence de retenues).

4. Des outils proposés pour réaliser les études de l'impact cumulé des retenues

Cette partie contient une sélection d'outils disponibles pour faciliter l'étude des impacts cumulés des retenues. Deux types de documents sont mis à disposition dans ces fiches :

1. les documents d'appui pour la mise en place de la démarche produits grâce à l'Esco et aux réflexions qui lui ont fait suite,
2. des indicateurs et des méthodes mis en avant par l'Esco. Le recensement effectué n'est pas exhaustif, d'autres méthodes que celles sélectionnées ici peuvent être mises en œuvre lors d'études. De plus, les méthodes et indicateurs proposés ne sont pas pertinents dans tous les cas de figure et doivent être adaptés au contexte local des études et aux types de retenues présentes sur le bassin versant. Un certain nombre de méthodes proposées doivent faire l'objet de développements supplémentaires pour pouvoir être utilisées dans le cadre de l'impact cumulé des retenues d'eau.

Les différents documents proposés dans la première partie de ce chapitre sont des documents d'appui pour mettre en œuvre la démarche décrite dans les chapitres précédents :

- quelques pistes pour récupérer des données sur la zone d'étude ;
- le recensement des retenues et des projets sur le bassin versant ;
- le logigramme pour affiner le type de retenue étudiée selon ses caractéristiques et son mode de gestion ;
- les tableaux liant les caractéristiques des retenues à leurs impacts cumulés potentiels ;
- quelques rappels issus de l'ESCo sur les méthodes de cumul et les impacts ;
- les précautions à prendre pour calculer et interpréter un indicateur ;
- un recensement d'indicateurs liés aux pressions induites par les retenues ;
- un recensement de pressions autres que celles liées aux retenues ;
- un recensement d'indicateurs liés à l'état des milieux aquatiques ;
- une liste non exhaustive des enjeux liés à la présence de retenues sur un bassin versant.

La deuxième partie de ce chapitre concerne les fiches méthodologiques regroupant les méthodes proposées selon plusieurs thématiques :

- caractéristiques des retenues ;
- hydrologie et modélisation ;
- hydromorphologie et macro-habitats ;
- physico-chimie ;
- écologie et fonctionnalité des habitats.

Distinction indicateur / méthode

Nous distinguons ici les indicateurs des méthodes. Un indicateur est une donnée unique ou une valeur résultant d'un calcul assez modeste pour décrire un système ou un processus. Une méthode est une démarche plus complexe nécessitant des investigations de terrain ou des capacités de calcul pour une analyse plus poussée du système et nécessitant souvent un ensemble de données plus conséquent.

4.1 Documents d'appuis pour mettre en œuvre la démarche proposée

4.1.1 Quelques pistes pour récupérer des données sur la zone d'étude

Nous proposons un tableau ci-dessous listant un ensemble de données utiles pour réaliser les études des impacts cumulés des retenues et des liens permettant de les récupérer. Cette liste des données disponibles au moment de la rédaction de ce rapport n'est pas exhaustive mais a été conçue comme une aide pour identifier et faciliter la récupération des données disponibles.

Figure 10 : Données utiles et pistes pour les récupérer (1/2)

	Données	Commentaires	Fournisseur	Lien internet
caractéristique	Géologie	ATTENTION : données payantes	BRGM	http://infoterre.brgm.fr/
	Type de sol	carte national du type de sol et recensement de données d'études	GIS Sol	https://www.gissol.fr/donnees
	Occupation des sols dans le Registre agricole Parcelaire Graphique RPG	Issu des déclarations des agriculteurs dans le cadre des aides de la PAC, mis à disposition en 2017	Dispositif administré par l'Agence des services et de paiement (ASP)	site ASP : http://www.asp-public.fr/ses-savoir-faire/instrumenter-consultation : http://www.geoportail.gouv.fr/accueil
	Prélèvements d'eau sur le BV (données annuelles) : Banque Nationale des Prélèvements en Eau BNPE	Basée sur les redevances des agences de l'eau ; les prélèvements d'eau pour alimenter les retenues sont pris en compte par la BNPE, pas les prélèvements dans les retenues	Banque nationale des prélèvements en eau (Bnpe)	http://bnpe.eaufrance.fr/
climatologie	Précipitations	Moyenne sur le BV ; Données payantes pour l'usage privé	Météo France	https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=caracteristique&id_rubrique=29&caracteristique=12&caracdisp=31
	ÉvapoTranspiration Potentielle	Données payantes pour l'usage privé	Météo France	https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=caracteristique&id_rubrique=37&caracteristique=12&caracdisp=45
	Projections climatiques régionalisées	Température, précipitations selon différents scénarii	portail DRIAS	http://www.drias-climat.fr/
hydrologie	Réseau hydrographique BD Carthage	Composante de la BD Carto de l'IGN _ référentiel hydrographique officiel	BD Carthage accessible sur l'atlas catalogue du Sandre	http://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/49c7c071-7afb-4ff3-a00b-81af7425045f
	Réseau hydrographique BD Topo	composante de la BD Carto de l'IGN _ précis et exhaustif	BD Topo accessible via le site de l'IGN	http://professionnels.ign.fr/bdtopo
	Localisation des surfaces en eau : BD Topo	Donne toutes les surfaces en eau, naturelles ou artificielles, sans information technique		
	Débit des cours d'eau	À la station hydrométrique	DREAL sur la banque HYDRO	http://hydro.eaufrance.fr/
	Débits caractéristiques des cours d'eau : QA et QMNA5	Extrapolés, disponible sous forme de couche géographique	cartographie nationale réalisée par Irstea et fournie sur eauFrance	http://www.eaufrance.fr/observer-et-evaluer/etat-des-milieus/rivieres-et-lacs/hauteurs-et-debits

Figure 11 : Données utiles et pistes pour les récupérer (2/2)

	Données	Commentaires	Fournisseur	Lien internet
hydrologie	Assecs des petits cours d'eau : Observatoire national des étiages des cours d'eau (ONDE)	Données ponctuelles, à la station sur la France entière	AFB (Onema) sur le site eaufrance	http://onde.eaufrance.fr/
	Niveau des eaux souterraines	Données ponctuelles (piézomètres)	banque de données nationales ADES	http://www.ades.eaufrance.fr/
	Référentiel hydrogéologique français BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères)	Cartographie des entités hydrogéologiques France entière	BRGM	http://www.sandre.eaufrance.fr/
hydro/morpho	Aléa érosif	Disponible pour l'année 2000, Mise à jour prévue en 2017 dans le cadre du projet EFESE	BRGM/Gis sol	https://www.gissol.fr/donnees/donnees-dalea-derosion-2844 prochainement mis à jour
	Réseau des obstacles à l'écoulement : ROE	Disponible sur les linéaires des cours d'eau de la France entière	AFB (Onema) sur le site du Sandre	http://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/home
morpho	SYRAH SYSTème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau	Traduit les pressions hydromorphologique sur les cours d'eau et les risques d'altération hydromorphologiques	AFB (Onema) sur le site data.eaufrance	http://www.data.eaufrance.fr/jdd/9c86a5da-88f4-4819-a84e-c09a69394a34
Phys.bio	Données rapportage DCE : physico-chimique, biologie...	Issues de l'état des lieux des masses d'eau demandé par la DCE	voir les sites des AE : lien sur le site eaufrance	http://www.eaufrance.fr/donnees/les-donnees-dans-les-bassins
bio	Franchissabilité des ouvrages pour les espèces piscicoles	Référentiel des obstacles à l'écoulement ROE	AFB (Onema)	http://www.eaufrance.fr/squelettes/avertissement_ROE.html
	Inventaires piscicoles : peuplement piscicole pour l'IPR et IPR+	Issues du réseau hydrobiologique et piscicole RHP et de réseau de contrôle de surveillance RCS	sur le site Image données fournit par l'AFB (Onema)	http://www.image.eaufrance.fr/poisson/poissons.htm
	Calcul de l'I2M2 et de l'IPR+	Pour calculer ces indices à partir de fichiers de données + accès aux scripts de calcul	portail SEEE sur eaufrance	http://see.eaufrance.fr/
	Fiches des espèces protégées inféodées aux milieux aquatiques	4 pages décrivant la réglementation, l'habitat, les périodes de sensibilités et des recommandations de gestion	AFB (Onema)	http://www.Onema.fr/Especies-aquatiques-protgees
	Listes des espèces piscicoles d'eau douce menacées		UICN	poissons : http://uicn.fr/liste-rouge-poissons-d-eau-douce/
	Liste des espèces protégées à l'échelle nationale, européenne ou internationale		UICN	toutes les listes http://uicn.fr/publications/ (onglet espèces)

4.1.2 La caractérisation des retenues présentes et des projets de création sur le bassin versant

Il ressort de l'Esco que certaines données sur les retenues et leur gestion sont essentielles pour estimer leurs impacts cumulés sur les milieux aquatiques. Mais ces données ne sont pas toujours disponibles/accessibles. Si certains territoires ont commencé ce travail de recensement des retenues et de leurs caractéristiques, il n'est pas évident d'accéder à une information fiable et exhaustive.

Deux axes de recensement sont proposés ci-dessous (1) obtenir les caractéristiques concernant les retenues présentes sur le bassin versant et (2) obtenir des données sur les autres projets de retenues en cours d'instruction sur le bassin versant.

Connaître les retenues existantes

Des méthodes pour réaliser un inventaire des retenues existantes et pour les caractériser sont proposées dans la fiche méthodologique n°1 « Caractérisation des retenues ». Les méthodes proposées permettent d'obtenir les caractéristiques des retenues (localisation, estimation de leur volume...) mais aussi leur connectivité sur le bassin versant.

Pour guider les inventaires/recensements visant à **caractériser les retenues déjà présentes** sur le bassin versant, nous proposons ci-dessous une liste des **données à acquérir pour réaliser les études de l'impact cumulé**. Cette liste est hiérarchisée par ordre d'importance **pour les études de l'impact cumulé** (nous ne préjugeons pas de la faisabilité d'acquisition de telles données).

- le nombre de retenues ;
- leur localisation (coordonnées XYZ), qui permet de déduire la surface du bassin versant d'alimentation de la retenue et de déterminer la localisation de la retenue par rapport au cours d'eau ;
- leur surface (en m²) ;
- les volumes d'eau stockés et/ou utilisables (en m³) ;
- le milieu d'où provient l'eau alimentant la retenue (dénomination de la masse d'eau ou du cours d'eau) et la localisation de la prise d'eau (coordonnées XYZ) et si possible le mode d'alimentation (pompage, gravitaire...);
- la connexion ou non au cours d'eau de la restitution de la retenue (oui/non) ;
- les périodes d'alimentation et de restitution de la retenue ;
- le type de retenue (qui découle des données précédentes d'après la typologie de l'Esco et du logigramme de la Figure 16 et de la Figure 17) ;
- les usages de l'eau stockée et les volumes d'eau prélevés dans la retenue pour usage (indiquer la part de chaque usage si usages mixtes) ;
- les éventuels débits réservés ;
- ... l'ensemble des données de la liste des données utiles (Figure 13, Figure 14, Figure 15) sont ensuite intéressantes à avoir, sur l'ensemble des retenues présentes sur le bassin versant, pour réaliser des études de l'impact cumulé bien détaillées.

Nécessité de prendre en compte les projets de création de retenue

Il est fréquemment demandé d'évaluer les impacts cumulés du projet de création de retenue avec **les autres projets connus**. Il est donc nécessaire de connaître, sur le bassin versant, l'ensemble **des projets** de retenues en cours d'instruction (entre le dépôt et la fin de l'aménagement du projet). Ce sont **les directions départementales des territoires (et de la mer) DDT(M)** qui peuvent être contactées pour obtenir ces informations.

Données utiles à renseigner dans les dossiers de création de retenue

Pour mutualiser les données permettant de caractériser les retenues, nous proposons la mise en place d'une liste de données qui viendraient compléter/préciser **les informations demandées dans les dossiers de demande** de création de retenue. Cette liste a été mise au point à partir de l'Esco et lors des séminaires, pour permettre la mise en application de l'ensemble des indicateurs et outils proposés dans ce rapport. Ces données sont **utiles pour réaliser les études des impacts cumulés** des retenues en fournissant des informations détaillées sur les caractéristiques de ces dernières.

Cette liste est présentée dans les Figure 13, Figure 14, Figure 15 et devra donc être complétée dans les dossiers de création de retenue.

Cette liste de données utiles comprend des informations sur **les caractéristiques de la nouvelle retenue** et sur **son mode de gestion** : mode d'alimentation de la retenue, mode de restitution au milieu, les dynamiques temporelles des échanges d'eau et les usages de l'eau de la retenue... La Figure 12 vient préciser certaines des informations demandées.

Elle comporte 46 données utiles, mais certaines données ne sont à renseigner que pour certains types de retenues, c'est ce que précisent les croix sur fond vert dans le tableau. Les données à renseigner peuvent également être adaptées au cas par cas selon les contextes. En cas d'alimentation et de restitution **mixte**, il faut préciser le prorata de chaque mode d'alimentation/restitution pour l'ensemble des paramètres concernés (débits, volumes...).

Comme indiqué dans les tableaux, certaines des caractéristiques renseignées dans cette liste sont vouées à évoluer dans le temps (numéro de case sur fond saumon). La liste ci-dessous ne contiendra pour l'instant que les valeurs de ces caractéristiques **lors de l'acte administratif**.

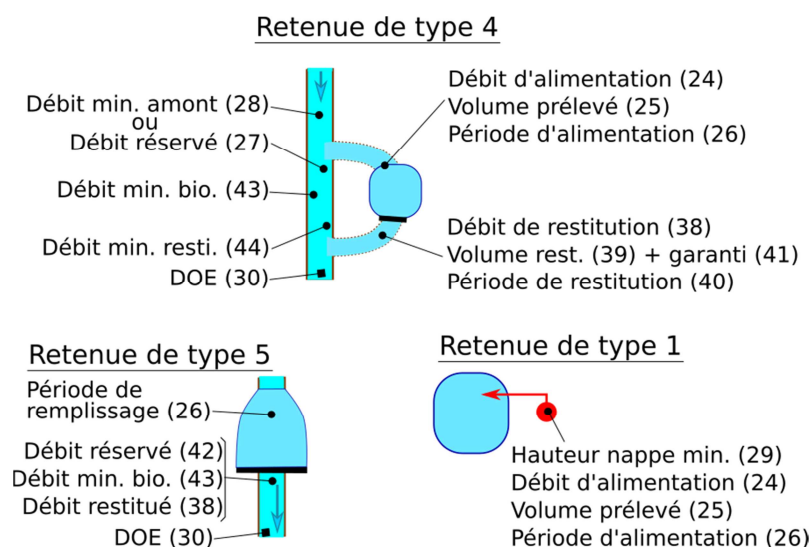


Figure 12 : Précisions sur les différents débits à renseigner pour les différents types de retenues (le numéro entre parenthèse renvoie à la ligne de la donnée concernée dans le Figure 13)

Figure 13 : Liste des données utiles pour évaluer les impacts des retenues (1/3)

Pour chaque donnée, il est préciser pour quelle(s) type(s) de retenue(s) elle doit être renseignée							
x : données à renseigner pour ce type de retenue							
Quelques données vont dépendre de la retenue considérée et ne seront pas à renseigner dans tous les cas.							
? : voir la nécessité de renseigner la données au cas par cas							
Certaines des caractéristiques renseignées dans cette liste sont vouées à évoluer dans le temps.							
La liste ci-dessous ne contiendra pour l'instant que les valeurs de ces caractéristiques lors de l'acte administratif							
donnée à priori "immuable"							
donnée susceptible d'évoluer (mise à jour de la réglementation ou des usages...)							
Présentation générale du projet		type de retenue					
		1	2	3a	3b	4	5
1	Localisation de la retenue (XYZ)	x	x	x	x	x	x
2	Volume total de la retenue (en m3)	x	x	x	x	x	x
3	Volume d'eau utile de la retenue (lors de l'acte administratif) = les volumes d'eau minimum (de lestage) et maximum de la retenue (en m3)	x	x	x	x	x	x
4	tranche d'eau d'exploitation : profondeurs de la retenue (m) minimale (à la fin de la période d'irrigation) et maximale (à la fin du remplissage)	x	x	x	x	x	x
5	hauteur de la digue et cote normale d'exploitation	x	x	x	x	x	x
6	la surface de la retenue = miroir du plan d'eau (m²) en cote normale d'exploitation	x	x	x	x	x	x
7	Surface totale de l'installation, son emprise (m²)	x	x	x	x	x	x
8	la surface du bassin versant soit drainé par la retenue (km²) ou soit au niveau de la prise d'alimentation de la retenue	?	X	x	x	X	X
9	distance minimale entre la retenue et le cours d'eau impacté (m ou km)	?	x	?	?	x	
10	linéaire de cours d'eau court-circuité (m ou km)					x	
11	linéaire de rivière couvert par la retenue (km)						x
12	présence d'ouvrage de franchissement lié à la retenue ; si oui pour quelle(s) espèce(s) ?		x			x	x
13	gestion de la retenue collective ou non, si oui : nombre d'usagers	x	x	x	x	x	x
14	les usages de la retenue, si plusieurs usages, si possible, préciser la part de chaque usage	x	x	x	x	x	x
15	dynamique temporelle des prélèvements pour usage dans la retenue : période de prélèvement prévue de l'eau de la retenue et, si possible, les volumes d'eau prélevés	x	x	x	x	x	x
16	En cas de substitution, préciser le volume d'eau (m3) qui ne sera plus prélevé en période estivale et le milieu bénéficiaire/la masse d'eau qui ne sera plus prélevée	x	x	?	?	?	
17	Occupation du sol au niveau de la retenue avant installation l'installation de celle-ci : zone humide, agricole, forêt...	x	x	x	x	x	x
18	Occupation du sol sur les surfaces irriguées par la retenue avant et modifications attendues après installation de la retenue et localisation des modifications	x	x	x	x	x	x

Figure 14 : Liste des données utiles pour évaluer les impacts des retenues (2/3)

	mode et gestion d'alimentation de la retenue	type de retenue					
		1	2	3a	3b	4	5
19	si alimentation mixte préciser les différentes méthodes d'alimentation et le prorata d'apport de chaque méthode	x	x	x	x	x	x
20	identification de la masse d'eau ou du cours d'eau prélevé : rivière tronçon BD carthage...	nappe	rivière	ruisselle ment	écoulem ent intermittent et ruisselle ment	rivière	rivière
21	coordonnées de la prise d'eau (XYZ) pour alimenter la retenue si sur talweg ou dans le cours d'eau ou coordonnées du puits (XYZ) si pompage	x	x			x	
22	si pompage en nappe, identifier le cours d'eau et/ou zone humide potentiellement impacté par le pompage et aquifère pompé	x					
23	mode d'alimentation de la retenue : déversement latérale par surverse, pompage, dérivation avec seuil en cours d'eau, buse...		x			x	x
24	débit maximal d'alimentation (m3/s) de la retenue	x	x			x	
25	volume demandé de prélèvement pour remplissage de la retenue (m3)	x	x	?	?	x	?
26	période d'alimentation de la retenue : toute l'année, en hiver, pendant crue, autre...	x	x	x	x	x	
27	débit réservé (m3/s) de la rivière au niveau de la prise d'eau d'alimentation (valeur réglementaire)		x			x	
28	débit (amont) minimum (m3/s) de la rivière en période de prélèvement pour remplissage = débit caractéristique d'étiage ou débit minimum de la rivière (préciser s'il y a des variations selon les saisons)		x			x	
29	Hauteur de la nappe qui contraignent le prélèvement pour remplissage	hauteur					
30	Débit objectif d'étiage DOE du point nodal le plus proche + Indiquer le piézo stratégique de référence en plus (ou en alternative) au DOE		x			x	x
31	mode de déconnexion du réseau hydrographique			x	x	?	

Figure 15 : Liste des données utiles pour évaluer les impacts des retenues (3/3)

	mode de restitution de la retenue dans le milieu	type de retenue					
		1	2	3a	3b	4	5
32	Quel est le milieu de restitution ? + identification de la masse d'eau	si rejets après usage ou trop plein et vidange		rivière + si rejets après pompage			
33	mode de restitution de la retenue dans la rivière : débordement au dessus d'un seuil (permanent ou mobile), crépine de hauteur variable, vanne de fond, par moine, turbinage + gestion manuelle, automatisée ou par télétransmission	x	x	x	x	x	x
34	coordonnées de la restitution (XYZ) au point de restitution dans le cours d'eau/milieu aquatique	vidange ?		x	x	x	x
35	Préciser s'il y a un changement de bassin versant de l'eau restituée	x	x	x	x	x	x
36	coordonnées des pompages (XYZ) de prélèvement pour usage dans le cours d'eau à l'aval de la retenue, si les volumes d'eau sont restitués par la retenue dans le but d'alimenter ces pompages					x	x
37	profondeur de la prise d'eau dans la retenue (m)			x	x	x	x
38	débit de restitution (m3/s) de la retenue : débit réellement restitué (régime de surverse dont soutien d'étiage ou débit affecté, si plus important que le débit réservé) et sa dynamique annuelle				x	x	x
39	Volume d'eau restitué (m3) sur une année				x	x	x
40	période de restitution : toute l'année, été, pendant les étiages, autre...			x	x	x	x
41	Volume garanti (m3) pour les retenues de réalimentation : qui peut servir à réalimenter le milieu en cas d'étiage sévère (sans notion de débit réservé)					x	x
42	débit réservé (m3/s) dans le cours d'eau, valeur réglementaire						x
43	débit minimum biologique (m3/s) dans le cours d'eau		x			x	x
44	Débit minimum (m3/s) de la rivière en période de restitution (si valeur définie pour limiter l'impact de la restitution sur le milieu en période de basses eaux)					x	x
45	Usage visé de l'eau restituée (irrigation, loisir eaux vives, navigation...)		?			?	?
46	modalité de gestion des sédiments dans la retenue (chasse, curage avec vidange...), saison et fréquence	x	x	x	x	x	x

Données facultatives :

		type de retenue					
		1	2	3a	3b	4	5
Données supplémentaires à renseigner si besoin							
47	type de géomembrane en fond de retenue	x	x	x	x	x	?
48	durée de vie prévue de la géomembrane	x	x	x	x	x	x

4.1.3 Un logigramme pour caractériser le type de retenue étudiée

La typologie proposée dans l'Esco (voir Figure 3 : Typologie de retenues d'eau) ne détaille pas assez les modes de gestion des ouvrages pour permettre de déterminer l'ensemble des impacts potentiels de chaque type de retenue. De plus, les séminaires en région ont fourni de nombreuses informations permettant de préciser les différents modes de fonctionnement des retenues existants. Nous avons donc affiné cette typologie dans le logigramme des Figure 16 et Figure 17, pour bien prendre en compte à la fois les caractéristiques de la retenue et leurs différents fonctionnements, c'est-à-dire :

- pour l'alimentation de la retenue : le milieu (ruissellement, nappe ou rivière), le mode (pompage ou gravitaire), la gestion (avec ou sans déconnexion), la période (hautes ou basses eaux...)
- pour la restitution dans les milieux aquatiques : le mode (eau profonde ou de surface), la période (sans, ponctuelle ou toute l'année).

Certaines retenues présentent des modes d'alimentation ou de fonctionnement mixte. Il faut alors prendre en compte pour ces retenues mixtes une association de plusieurs types dans le logigramme. Par exemple, une retenue collinaire, alimentée ponctuellement par un pompage en nappe en été, correspondra à un type mixte F et B.

Quelques points d'attention rappelés dans le logigramme :

Certaines retenues peuvent correspondre à des retenues de substitution (P et L) et d'autres à du soutien d'étiage (G, K, O, T). Ces types de retenues se retrouvent dans le logigramme (en fonction des saisons d'alimentation et de restitution) sans que soit mentionné l'objectif de la gestion.

Ce logigramme décrit le dispositif global constituant les retenues en s'attachant à prendre en compte les caractéristiques permettant d'estimer ses impacts. Nous ne nous sommes pas intéressés aux impacts ni dans les bras de contournement, ni dans les canaux d'alimentation ou de restitution, ni dans le tronçon de cours d'eau court-circuité, car *a priori* ceux-ci ne se cumulent pas (sauf cas très particuliers).

Cette typologie plus fine est à utiliser comme entrée dans les Figure 18 et Figure 19 qui permet d'appréhender les impacts cumulés potentiels de chaque type de retenue sur les milieux aquatiques.

logigramme pour affiner le type de retenue étudiée selon ses caractéristiques et son mode de gestion

Une même retenue peut présenter des caractéristiques ou un fonctionnement mixte. Il faut alors prendre en compte une association de plusieurs types dans le logigramme.

RETENUE

milieu d'alimentation

nappe

ruissellement

rivière

mode d'alimentation

gestion d'alimentation

mode d'alimentation

pompage en nappe

source exfiltration

avec déconnexion l'été

sans déconnexion l'été

pompage en rivière

gravitaire

période

période

en hiver

en été



voir feuille 2/2

sans restitution*

A T1

sans restitution*

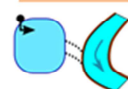
B T1

sans restitution*

C T3

restitution ponctuelle au CE par surverse

D T3



sans restitution*

E T3

sans restitution*

F T3

hautes eaux (principalement hiver)

basses eaux (principalement été)

restitution ponctuelle à l'étiage et sans usage

G T2

restitution ponctuelle au CE pour usages aval

H T2

sans restitution*

I T2

sans restitution*

J T2

Remarques : - Ce logigramme s'intéresse au dispositif global d'une retenue dans le cadre de l'étude de l'impact cumulé. Nous ne nous sommes pas intéressés aux impacts ni dans les bras de contournement, ni dans les canaux d'alimentation ou de restitution, ni dans le tronçon de cours d'eau court-circuité, car *a priori* ceux-ci ne se cumulent pas (sauf cas très particuliers).

- Certaines retenues peuvent correspondre à des retenues de **substitution** (P et L) et d'autres à du **soutien d'étiage** (G, K, O, T) mais nous n'avons pas souhaité l'indiquer directement dans cette arborescence.

- Les retenues C et D sont des retenues collinaires alimentées en partie par une source, qui est majoritairement peu visible et avec un débit non ajustable. Ces retenues C et D sont donc très souvent assimilées aux retenues E et F, ce qui n'est pas correct puisque cela néglige les apports d'eau par la source.

- * : voir remarques sur feuille 2/2

1/2

Figure 16 : Logigramme permettant de déterminer le type de retenue étudiée selon ses caractéristiques et son mode de gestion (feuille 1/2)

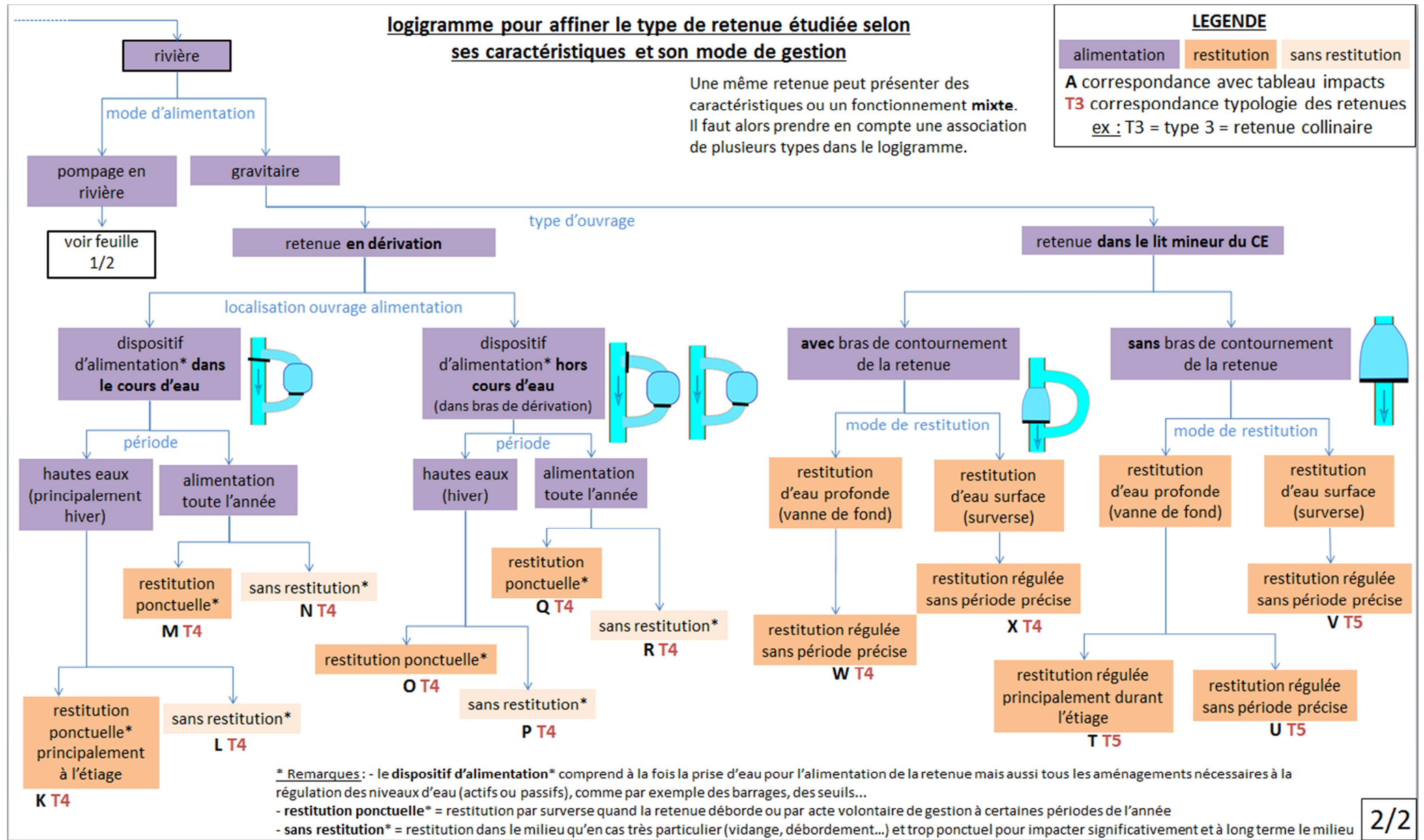


Figure 17 : Logigramme permettant de déterminer le type de retenue étudiée selon ses caractéristiques et son mode de gestion (feuille 2/2)

4.1.4 Les tableaux liant les caractéristiques des retenues à leurs impacts cumulés potentiels

L'expertise scientifique collective a permis d'identifier les **impacts cumulés sur les milieux aquatiques liés à la présence de retenues** et de mettre en évidence que ces impacts cumulés varient suivant le type de retenue. À partir de ces résultats, nous proposons d'identifier l'**ensemble** des impacts cumulés qui **pourraient s'exprimer** (=potentiels) sur le bassin versant en fonction des types de retenues présentes.

Les impacts cumulés potentiels des retenues sont synthétisés dans les Figure 18 et Figure 19 pour chaque type de retenue (types identifiés dans les Figure 16 et Figure 17). Ces tableaux peuvent servir d'appui à l'étape 1 de la démarche :

- en connaissant les différents types de retenues présents sur un bassin versant et leurs modes de gestion, tous les effets potentiels liés à ces retenues peuvent être identifiés ;
- les impacts potentiels les plus fréquents ou ceux s'exprimant pour les retenues de grandes tailles ont *a priori* le plus de risque de s'exprimer sur le bassin versant.

Cette liste des impacts cumulés potentiels permettra de **guider les premières investigations** sur les bassins versants, telles que des calculs d'indicateurs ou des observations de l'état du milieu.

Figure 18 : Impacts cumulés potentiels sur les milieux aquatiques pour chaque type de retenues (partie 1/2)

caractéristique fonctionnelle impactée	type de retenue																																														
	milieu alimentation		nappe				ruissellement		pompage en rivière				rivière																																		
	mode d'alimentation		pompage en nappe		source (exfiltration)								en dérivation avec canaux d'alimentation et de restitution					gravitaire																													
	gestion d'alimentation (période...)		hiver		été		/		/		hautes eaux (principalement hiver)				basses eaux (été)		dispositif d'alimentation dans le cours d'eau					dispositif d'alimentation hors CE (dans le bras de dérivation)					retenue dans le lit du cours d'eau																				
	restitution de la retenue vers le milieu aquatique		sans restitution		sans restitution		sans restitution		restitution au CE ponctuelle par surverse		sans restitution		sans restitution		restitution ponctuelle à l'étiage et sans usage aval		restitution ponctuelle pour usage aval		sans restitution		sans restitution		restitution ponctuelle		sans restitution		restitution ponctuelle		sans restitution		restitution ponctuelle		sans restitution		restitution d'eau profonde régulée sans période		restitution d'eau de surface régulée sans période		restitution d'eau profonde régulée principalement durant l'étiage		restitution d'eau profonde régulée sans période		restitution d'eau de surface régulée sans période				
	type de retenue		1		1		3		3		3		3		2		2		2		2		4		4		4		4		4		4		4		4		4		5		5				
correspondance avec le logigramme		A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		M		N		K		L		Q		R		O		P		W		X		T		U		V	
% de retenues de ce type sur le BV																																															
physico-chimie	Possible évolution de l'impact cumulé potentiel induite par le type de retenue ciblé																																														
	concentrations en azote dans le CE : diminution de l'azote dans le cours d'eau par dénitrification dans la retenue avec des variations saisonnières (les retenues placées à l'aval proche de l'exutoire sont plus efficaces que celles placées à l'amont et de nombreux petits réservoirs sont plus efficaces qu'un grand)		diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE						diminution				diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE		diminution		diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE		diminution		diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE		diminution		diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE		diminution		diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE		diminution		diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE		diminution		diminution + +										
	concentrations en phosphore dans le CE : a priori, diminution dans le cours d'eau du phosphore particulaire par rétention dans la retenue (dépend de la retenue et du contexte) mais cette charge interne en phosphore peut être relarguée lors de crue/vidange de la retenue		diminution mais sans restitution pas d'impact sur le CE						diminution				diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse)		diminution (mais augmentation lors de chasse) + +										
	concentrations en autres polluants dans le CE: la présence de retenue peut préserver l'aval du CE/du BV en stockant/retardant les pollutions en provenance de l'amont mais cette charge interne en polluants peut être relarguée lors de crue/vidange de la retenue		/				/		/				/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/						
biologie	augmentation du risque d'eutrophisation (augmentation des concentrations en nutriments et de la température) qui provoque des bloom ce qui déséquilibre la physico-chimie et peut poser problème si prélèvement d'eau dans la retenue pour AEP		augmentation		à déterminer		augmentation		augmentation				augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation		augmentation + +								
	Augmentation des milieux lenticques sur le BV = modification des espèces présentes sur le BV avec plus d'espèces de milieux lenticques (poissons, macrophytes...) favorise les espèces tolérantes + peut favoriser la naturalisation d'espèces invasives sur le BV et mettre en danger les espèces patrimoniales et protégées = baisse de la diversité et des indices DCE																																														
	Diminution de la surface des zones humides sur le bassin versant (si destruction lors de construction de retenue ou déconnexion hydraulique), ce qui altère leurs fonctionnalités (notamment épuratoires) et impacte les espèces s'y développant et qui peut conduire à une disparition des espèces souvent spécifiques des zones humides																																														
	altération des "signaux" pour les cycles biologiques : dérèglement du cycle biologique de certaines espèces (modification des périodes de reproduction...) liés aux modifications des variations saisonnières de certains paramètres (température, débit...)		modification selon spécificité des espèces						modification selon spécificité des espèces				modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces		modification selon spécificité des espèces								
changement	déplacement et migration : un grand nombre de retenues proches sur le BV va favoriser la dispersion d'espèces lenticques entre ces milieux lenticques																																														
	évolution de la structure des communautés d'invertébrés : modification des structure des populations et de la répartition des différentes classes d'invertébrés à cause des modifications des habitats avec les variations longitudinales : qualité de l'eau, physico-chimie et hydromorphologie ; qui peut être influencé par la densité de retenue présentes sur le BV		/				/		/				/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/						
	déplacement et migration des poissons : un fort fractionnement va diminuer des possibilités de déplacement des populations et pourra rendre impossible les migrations et faire disparaître des populations, ce qui peut à long terme engendrer une diminution de la diversité génétique en amont du cours d'eau et altérer la santé des populations		/				/		/				/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/						
	zone de reproduction des poissons : si les retenues présentes sur le BV modifient la forme et le substrat du lit du cours d'eau et diminuent le nombre de crue = cela peut faire disparaître les zones de frayères dans le cours d'eau et faire progressivement disparaître certaines espèces		/				/		à déterminer				diminution		diminution		diminution + +		diminution		diminution		diminution		diminution		diminution		diminution		diminution		diminution		diminution + +												
zone de refuge pour les poissons : augmentation des zones de refuge en cas de phénomènes hydrologiques extrêmes		/				/		/				/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/		/							
modification des pratiques culturales : modification possible des pratiques culturales et l'occupation des sols (intensification et/ou diversification des cultures) ; si irrigation : diminution de la ressource disponible en augmentant la consommation d'eau pluviale, peut réduire ou intensifier les écoulements (vers la nappe ou par ruissellement) suivant l'usage de l'eau et les cultures irriguées																																															
modification de l'apport d'eau douce dans les estuaires : diminution des apports d'eau douce dans les estuaires, ce qui modifie leur salinité et turbidité et impacte les espèces estuariennes. De plus, les lâchés de barrage perturbent le gradient de salinité et évacuent les organismes présents.																																															
effets sur le climat : en créant des conditions que l'on ne retrouve pas en l'absence de retenue, un grand nombre de retenues peut avoir un impact sur le climat comme la production de gaz à effet de serre ou la séquestration de carbone																																															

Figure 19 : Impacts cumulés potentiels sur les milieux aquatiques pour chaque type de retenues (partie 2/2)

Impact potentiel sur le milieu aquatique lié à la présence de retenue																																			
type de retenue																																			
milieu alimentation		nappe					ruissellement		rivière																										
mode d'alimentation		pompage en nappe		source (exfiltration)			déconnexion		pompage en rivière			gravitaire																							
gestion d'alimentation (période...)		hiver		été			/		hautes eaux (principalement hiver)			basses eaux (été)			en dérivation avec canaux d'alimentation et de restitution																				
restitution de la retenue vers le milieu aquatique		sans restitution		sans restitution			restitution au CE ponctuelle par surverse		sans restitution		restitution ponctuelle à l'étiage et sans usage aval			restitution ponctuelle surtout à l'étiage			restitution ponctuelle			restitution ponctuelle			restitution dans le lit du cours d'eau												
type de retenue		1		1			3		3		2			2			4			4			4			4									
correspondance avec le logigramme		A		B			C		D		E			F			G			H			I			J			K			L			
% de retenues de ce type sur le BV																																			
caractéristique fonctionnelle impactée	Possible évolution de l'impact cumulé potentiel induite par le type de retenue ciblé																																		
	diminution du débit moyen annuel du BV (évaporation, stockage) et vitesses d'écoulement du CE																																		
	diminution de la disponibilité de la ressource en eau sur le BV : si irrigation, pompage AEP...																																		
	temps de résidence de l'eau dans la retenue																																		
	modification des niveaux d'eau dans la nappe																																		
	régime d'écoulement en été : impact sur la durée et la période d'étiage/d'intermittence du CE																																		
	régime d'écoulement en hiver : modification des débits hivernaux et/ou des débits de crue du cours d'eau et des vitesses d'écoulement du CE ; modification des crues morphogènes et du débit de plein bord, impact les inondations en aval																																		
	vitesses d'écoulement de l'eau : diminution des vitesses d'écoulement du CE en amont des ouvrages																																		
	si interception des écoulements alimentant des zones humides : impact sur les zones humides à l'aval de la retenue ou du pompage																																		
	piégeage de sédiment dans la retenue = déficit en sédiment fins dans le cours d'eau aval = potentielle érosion du lit et modification du substrat = possible déconnexion des ZH proches																																		
hydrologie	si chasse/vidange = fort apport ponctuel de sédiment dans le CE																																		
	température du CE en aval des retenues (fortes variations saisonnières) ; l'impact de la retenue sur la température peut se cumuler si les retenues s'enchaînent avec une distance les séparant inférieure au linéaire impacté (voir distance de retour)																																		
	oxygénation du CE (fortes variations saisonnières) fortement impactée par la température ; l'impact de la retenue sur l'oxygénation peut se cumuler si les retenues s'enchaînent avec une distance les séparant inférieure au linéaire impacté (voir distance de retour)																																		
hydromorphologie	dépôt de matière organique (MO) dans la retenue = intensification des réactions physico-chimiques de dégradation que peut subir cette matière organique = le milieu devient parfois anoxique (avec un effet saisonnier lié à la température). Cela peut provoquer une accumulation de nutriments dans la retenue qui peuvent être restitués au CE.																																		

4.1.5 Les précautions à prendre pour calculer et interpréter un indicateur

Trouver une référence locale permettant d'interpréter la valeur calculée d'un indicateur

Pour faire le lien entre la valeur calculée de l'indicateur et la présence de retenues sur le bassin versant, il faut savoir comment varie l'indicateur en présence de retenues. Il n'est pas possible de caractériser ces variations au niveau national car les milieux aquatiques présentent une très grande diversité et leurs réponses aux différentes pressions dépendent fortement du contexte.

Plusieurs méthodes peuvent permettre de quantifier l'importance d'un impact :

1. Trouver un ou des **sous bassin(s) versant(s) de référence où très peu, voire aucune retenue, n'est présente**. Un sous bassin versant non équipé et assez représentatif permettra de définir l'état du bassin versant en l'absence totale de retenue. L'importance de l'impact se traduit par un écart plus ou moins important entre la valeur de l'indicateur calculé pour un sous bassin versant et la valeur de l'indicateur du sous bassin versant de référence. Cependant, il est souvent très difficile de trouver un sous bassin versant très faiblement équipé en retenue et représentatif du bassin versant ;
2. Travailler en comparant des sous bassins présentant **un gradient de densité d'équipement global** (Figure 20) **ou un gradient de densité pour un type d'équipement** (on peut s'intéresser à un gradient de densité des retenues hors cours d'eau, Figure 21). Comparer les résultats des indicateurs entre les sous bassins versants permet d'établir l'évolution des valeurs de l'indicateur en fonction de la densité de retenues présentes sur les sous bassins versants. Il est alors possible d'établir une ou des **valeurs guides** pour l'indicateur (des valeurs à ne pas franchir, des valeurs à atteindre...) qui traduisent l'importance de la pression sur le sous bassin étudié. Cependant, ces comparaisons peuvent prendre également en compte des pressions qui ne sont pas liées aux retenues. Ces différents points doivent bien être pris en compte lors de l'interprétation de ces comparaisons.
3. Sans référence ni gradient d'équipement, **s'intéresser à un ensemble de sous bassins versants** comprenant des sous bassins représentatifs du territoire (avec une taille, des équipements en retenues et un contexte proches) et des sous bassins plus spécifiques (contexte particulier ou présentant éventuellement des gradients d'équipement mais pour certains types de retenues), puis calculer l'indicateur sur l'ensemble de ces sous bassins versants pour avoir un premier aperçu de la répartition de la pression liée à l'indicateur, enfin voir s'il est possible d'établir une hiérarchisation entre les sous bassins versants étudiés en fonction de la valeur de l'indicateur qui pourrait traduire l'importance de l'impact.

Il est donc nécessaire de réaliser les calculs sur le(s) sous bassin(s) versant(s) de référence choisi. Ces différentes propositions doivent permettre de déterminer, pour les indicateurs et les méthodes utilisés, des valeurs de références ou des gradients de valeurs permettant de caractériser et de comparer l'importance des impacts sur l'ensemble des sous bassins versants.

Point d'attention : les bassins versants ne sont pas forcément comparables. Il faudra indiquer dans l'étude les caractéristiques du/des bassin(s) versant(s) choisi(s) comme référence et expliciter les facteurs expliquant les spécificités d'aménagement en retenue sur ces « références » et les différences avec le reste du BV (pourquoi il y a moins de retenue, pourquoi il y a des différences d'agriculture, etc...). Il faudra bien prendre en compte ces différences lors de la comparaison des indicateurs entre les sous bassins versants étudiés et le(s) sous bassin(s) versant(s) de référence.

Comme l'a montré l'Esco, il y a eu très peu d'études sur le cumul d'impacts liés aux retenues. Il n'y a pas actuellement de méthode pour cumuler les impacts ou les valeurs des indicateurs. Nous proposons simplement ici de comparer la valeur de l'indicateur considéré entre :

- le(s) sous bassin(s) versant(s) de référence ;
- sur chaque sous bassin versant où le calcul est possible (notamment dans l'étude du bassin) ;
- pour l'ensemble du bassin versant pour l'étude du bassin.

Ces comparaisons mettent en évidence les évolutions de l'indicateur sur la zone d'étude.

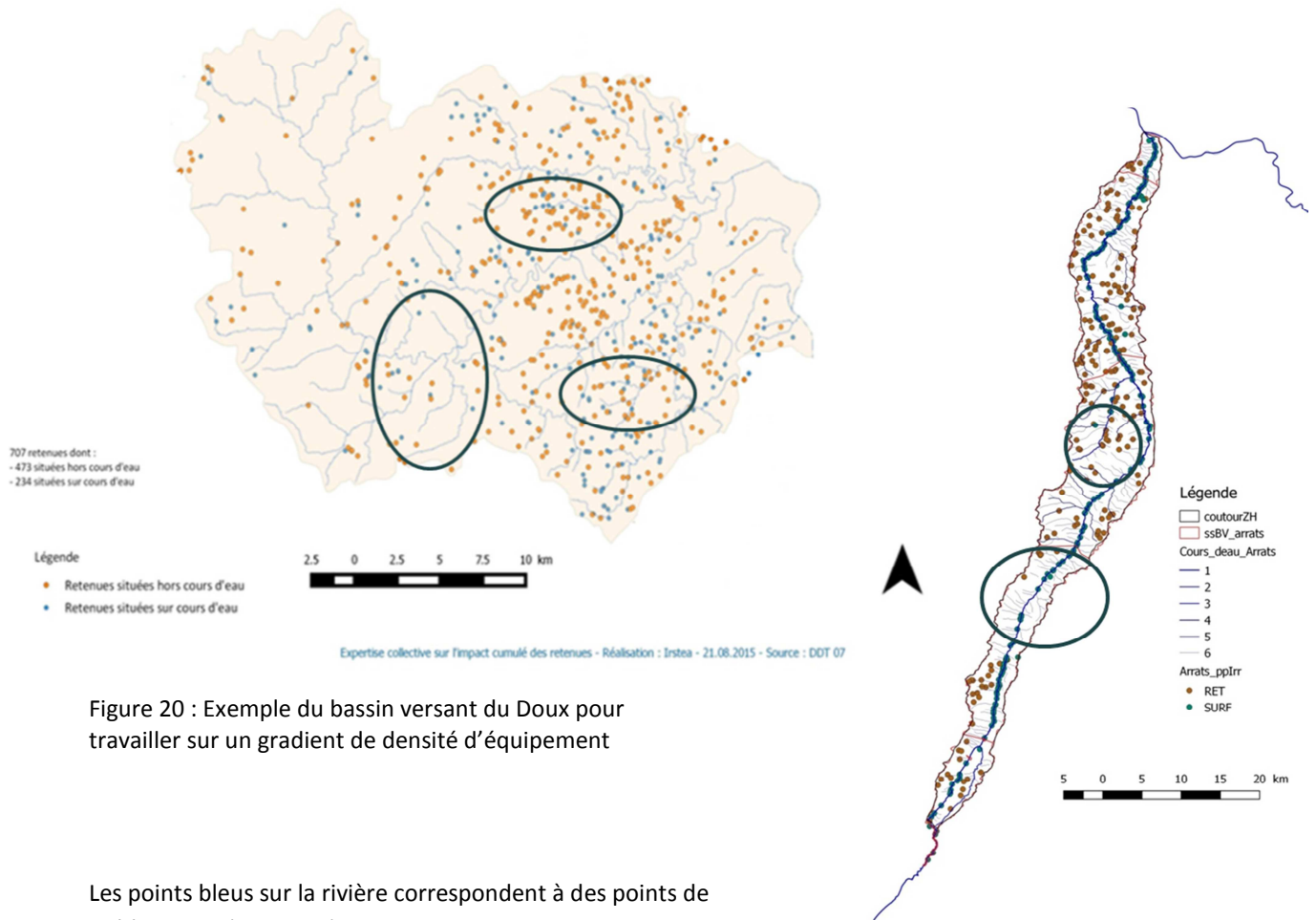


Figure 20 : Exemple du bassin versant du Doux pour travailler sur un gradient de densité d'équipement

Les points bleus sur la rivière correspondent à des points de prélèvement (irrigation).

Figure 21 : Exemple du bassin versant de l'Arrats (32, 82) pour travailler sur une différence de densité de retenues hors cours d'eau

Il faudra bien indiquer dans les études la/les « référence(s) » utilisée(s) pour justifier l'importance finale donnée à l'indicateur et les valeurs guides choisies.

Ces indications permettront par la suite de comparer les valeurs guides de différentes études pour d'éventuelles extrapolations à plus grande échelle.

Prendre en compte les variations spatiales et temporelles des impacts

Lors du calcul des indicateurs, il faut bien garder à l'esprit que les impacts liés aux retenues présentent des variations spatiales et temporelles qui peuvent être non négligeables (voir l'annexe B, paragraphe 2). Lors du calcul d'un indicateur, il faut donc bien choisir la zone géographique à étudier et la période à laquelle l'indicateur est calculé.

Pour chaque indicateur, il convient **de localiser** sur une carte la zone pour laquelle il a été calculé, indiquer la période sur laquelle l'indicateur a été calculé et **qualifier son importance** (négligeable, moyenne, fort) par rapport à la référence locale choisie sur le bassin versant (bien indiquer les valeurs de référence choisies pour chacun des indicateurs). Ces comparaisons permettront d'évaluer la réponse de l'indicateur pour différentes répartitions de retenues.

4.1.6 Des indicateurs liés aux pressions induites par les retenues

Les Figure 22, Figure 23 et Figure 24, ont été conçues comme une aide pour identifier et faciliter le calcul d'indicateurs traduisant les pressions liées à la présence de retenues sur le bassin versant. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres indicateurs peuvent être utilisés.

Les indicateurs proposés sont classés en fonction de « la caractéristique fonctionnelle » du bassin versant impactée : l'hydrologie, l'hydromorphologie, la physico-chimie ou la biologie. Il faut choisir l'indicateur à utiliser en fonction de l'impact que l'on souhaite étudier et des données disponibles. Ce « lien avec l'impact cumulé » des retenues est explicité dans la colonne du même nom dans le tableau. Le calcul de ces indicateurs nécessite un certain nombre de données qui sont explicitées dans la colonne « variables/données nécessaires ». Des pistes pour récupérer ou calculer les variables nécessaires sont données dans les Figure 10 et Figure 11).

Il faut prendre certaines précautions pour calculer un indicateur, comme explicité dans le paragraphe 4.1.5.

Figure 22 : Des indicateurs liés aux pressions induites par les retenues (1/3)

Caractéristique	Lien avec impact cumulé	Indicateur	Formule	Utilisation de l'indicateur	Variables / données nécessaires
hydrologie	Importance de l'implantation de retenues sur le cours d'eau = obstacle à la continuité	Densité de retenue sur le linéaire	$D_L = \text{nombre d'ouvrages sur CE} / \text{linéaire de cours d'eau}$	Retenue type 5 (et éventuellement type 4 barrant le CE) ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV	réseau hydrographique et localisation des retenues
	Importance de l'implantation de retenues sur le bassin versant	Densité de retenue sur un (sous-) bassin versant	$D_R = \text{nombre d'ouvrages} / S_{BV}$	toute retenue ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV ; ATTENTION : cet indicateur évolue avec l'étendu du BV considéré, plus on prend pour limite aval l'exutoire du BV, plus on diminue la densité	S_{BV} : surface des BV ; localisation des retenues ;
	Importance des pertes évaporatoires, essayer de le relier au coefficient de rétention de l'azote	Indicateur de surface de retenue	$T_{surf} = \sum S_{retenues} / S_{BV}$	toute retenue ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV	$S_{retenues}$: surface des retenues, S_{BV} : surface du bassin versant
	Importance des perturbations liées aux restitutions des retenues	Indicateur de linéaire moyen entre deux retenues	moyenne des linéaire de CE entre deux restitutions de retenues	retenues qui restituent dans le CE : type 2, 4 et 5	réseau hydrographique et localisation des restitutions des retenues (ou extrapolation par rapport à la position des retenues par rapport au CE)
	Artificialisation du régime du cours d'eau : modification des écoulements	Indicateur linéaire d'artificialisation du CE	%linéaire CE artificialisé / linéaire total du CE concerné	ATTENTION indicateur « confondant » avec des pressions autres que retenues car prend en compte d'autres pressions que celles liées aux retenues...	linéaire du CE artificialisé : ennoyé, intercepté, endigué...
	Artificialisation du régime : linéaire de rivière perturbé par la présence de retenue	Indicateur du linéaire intercepté du CE	% du linéaire intercepté par retenue dans le lit du CE (+ linéaire court-circuité par type 4) / linéaire total du cours d'eau concerné	retenue type 5, (+ type 4 ?)	linéaire intercepté par les retenues dans le lit du CE (+ linéaire de CE court-circuité par retenue en dérivation)

Notion indiquée en gras et en violet : doit être testée sur des cas concrets

Figure 23 : Des indicateurs liés aux pressions induites par les retenues (2/3)

Caractéristique	Lien avec impact cumulé	Indicateur	Formule	Utilisation de l'indicateur	Variables / données nécessaires
hydrologie	Importance du stockage d'eau sur le bassin versant	Indicateur volume de retenue	volume cumulé retenues / surface du BV	toutes les retenues ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV	surface du bassin versant et volume de l'ensemble des retenues
	Importance de la modification liée au stockage d'eau en fonction du type de régime hydrologique = capacité potentielle d'interception	Indicateur volume d'eau intercepté	$T_{vol} = \frac{\sum V_{intercepté}}{\sum V_{saison\ remplissage}}$	pas pour les retenues alimentées par pompage en nappe (type 1) ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV	$V_{intercepté}$: volume d'eau des retenues (volume utile si données dispo) $V_{saison\ remplissage}$: volume d'eau écoulé (pluie efficace * surface BV) sur les (3 ?) mois concernés par le remplissage
hydromorphologie	Importance du blocage des sédiments dans les retenues	Indicateur d'interception des sédiments	$T_{int} = \frac{\sum S_{BV\ contrôlé}}{S_{BV}}$	pas pour les retenues alimentées par pompage ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV	$S_{BV\ contrôlé}$: surface du bassin versant d'alimentation de la retenue ; S_{BV} : surface du BV ou des sous-BV
	Importance du blocage des sédiments issus de l'érosion dans les retenues	Indicateur d'interception des sédiments BIS	$T_{int} = \frac{\sum S_{BV\ érosif\ contrôlé}}{S_{BV}}$	pas pour les retenues alimentées par pompage ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV	$S_{BV\ érosif\ contrôlé}$: surface des BV des retenues * indice d'aléa érosif ; S_{BV} : surface du BV ou des sous-BV ; indicateur plus intéressant que le précédent
	Importance des milieux lenticulaires artificiels	Taux d'étagement	$T_{étag} = \frac{\sum H_{seuil}}{\Delta H_{rivière}}$	toute retenue ayant un ouvrage (seuil) dans le lit du cours d'eau ; à évaluer sur le BV et trouvé une valeur seuil ; attention indicateur « confondant » avec des pressions autres que retenues	H_{seuil} : Hauteur des seuils en CE des retenues ; $\Delta H_{rivière}$: dénivelé du cours d'eau
	Importance du fractionnement lié aux ouvrages barrant le lit du cours d'eau	Taux de fractionnement	$T_{fract} = \frac{\sum H_{chute}}{\text{linéaire de tronçon étudié}}$	toute retenue ayant un ouvrage (seuil) dans le lit du cours d'eau ; à évaluer sur le BV et trouvé une valeur seuil ; attention indicateur « confondant » avec des pressions autres que retenues	H_{chute} : hauteur de chute à l'étiage (dans ROE) ; linéaire de CE

Notion indiquée en gras et en violet : doit être testée sur des cas concrets

Figure 24 : Des indicateurs liés aux pressions induites par les retenues (3/3)

Caractéristique	Lien avec impact cumulé	Indicateur	Formule	Utilisation de l'indicateur	Variables / données nécessaires
biologie / hydromorphologie	Conservation des zones accessibles = réservoir « biologique », masses d'eau en TBE	Indicateur de continuité écologique du bassin	nombre de têtes de bassin versant accessibles (sans obstacle) / têtes de bassin inaccessibles	retenues de type 2, 4 et 5 qui peuvent être accompagnées d'ouvrages dans le lit mineur du CE ; comparer les valeurs entre les sous-BV	réseau hydrographique et obstacles dans le CE liés à la présence de retenues ; Notion d'accessibilité : à adapter aux espèces en présence (voir avec l'indice de continuité écologique)
	Conservation de ces zones accessibles = réservoir « biologique » ; masses d'eau en TBE	Indicateur de continuité cours d'eau	linéaire de CE préservé / linéaire inaccessible car présence d'obstacle dans le lit mineur	retenues de type 2, 4 et 5 qui peuvent être accompagnées d'ouvrages dans le lit mineur du CE ; comparer les valeurs pour le BV et celles des sous-BV ; attention indicateur « confondant » avec des pressions autres que retenues	réseau hydrographique et obstacles dans le CE ; Notion d'accessibilité à adapter aux espèces en présence (voir avec l'indice de continuité écologique)

Notion indiquée en gras et en violet : doit être testée sur des cas concrets

4.1.7 Un recensement de pressions autres que celles liées aux retenues

Ce tableau concerne des pressions qui ne sont pas liées à la présence de retenue mais qui ne peuvent pas être ignorées car elles peuvent interagir de façon significative avec les impacts cumulés des retenues.

Cette liste n'est pas exhaustive mais a été conçue comme une aide pour identifier et faciliter l'identification de pressions confondantes. D'autres facteurs que ceux listés ci-dessous peuvent interagir avec les retenues et doivent être déterminés localement.

Figure 25 : Exemple de pressions non liées aux retenues

Compartiment concerné	Élément descripteur de pression	Lien avec les impacts cumulés des retenues
Hydrologie	Prélèvements et consommation d'eau (irrigation, AEP, industrie, transfert/dérivation...) autre que pour l'alimentation des retenues (ratio volume stocké dans retenues/ volume prélevé hors retenue)	Interaction directe avec l'artificialisation du débit et in fine avec le bilan hydrique et/ou de la dynamique hydrologique du bassin versant (des cours d'eau concernés)
	Dérivation/délivrance/restitution par turbine hydroélectrique (effet "éclusées")	
Hydromorphologie	Prélèvement de graviers (ancien ou en cours)	Perturbe le transport sédimentaire et peut influencer la morphologie de la rivière
Physico chimie	% du bassin versant en agriculture, type d'assolement	Modification des apports de nutriments ou de contaminants sur le bassin versant qui peut conduire à une perturbation des espèces floristiques et faunistiques
	Présence et nature de rejets industriels (agroalimentaire, STEP...)	
	Présence de pesticides dans le milieu selon les pratiques phytosanitaires	
	Fond géochimique en éléments traces métalliques (liée à la présence de mine ou d'industrie en amont ou à une géologie particulière)	
	Présence de centrale nucléaire	Impact thermique sur le cours d'eau
Bactériologie	Bloom algal	Tendance à l'apparition de cyanobactéries sur le BV

4.1.8 Des indicateurs traduisant l'état des milieux aquatiques

Les Figure 26 Figure 27 proposent une liste d'indicateurs traduisant l'état des milieux aquatiques. Les indicateurs proposés concernent principalement l'état **des cours d'eau** et ils ne s'intéressent pas à l'état dans les retenues car c'est l'impact cumulé des retenues sur les milieux aquatiques qui est étudié dans ce rapport. Cette liste n'est pas exhaustive mais a été conçue comme une aide pour identifier et faciliter le calcul d'indicateurs traduisant l'état du milieu. D'autres indicateurs que ceux listés ci-dessous peuvent être utilisés.

Les indicateurs sont classés en fonction de « la caractéristique fonctionnelle » du bassin versant impactée : l'hydrologie, l'hydromorphologie, la physico-chimie ou la biologie. Il faut choisir l'indicateur à utiliser en fonction de l'impact que l'on souhaite étudier et des données disponibles. Ce « lien avec l'impact cumulé » est explicité dans la colonne du même nom dans le tableau. Le calcul de ces indicateurs nécessite un certain nombre de données qui sont explicitées dans la colonne « variables/données nécessaires ». Des pistes pour récupérer ou calculer les variables nécessaires sont données dans le Figure 10.

Les indicateurs proposés dans ce tableau sont représentatifs de **l'état général du bassin versant**, et leurs évolutions **ne sont pas seulement liées aux retenues**. Il faut donc rester prudent dans leurs interprétations.

Il faut prendre certaines précautions pour calculer un indicateur, comme explicité dans le paragraphe 4.1.5.

Figure 26 : Exemple d'indicateurs traduisant l'état des milieux aquatiques (1/2)

Caractéristique	Lien avec impact cumulé	Indicateur	Formule	Utilisation de l'indicateur	Variables / données nécessaires
Hydrologie	Artificialisation du régime hydrologique	Modules, QMNA5, VCN2-10-30, modules saisonniers	évolution des valeurs au cours du temps et si possible avec l'implantation des retenues		hydrogrammes et/ou valeurs caractéristiques du régime hydrologique
	Modification de l'hydrologie	Étiages sévères	nombre de jours sous DOE/DCR (ou POE), écart entre $Q_{\text{naturel saisonnier}}$ et $Q_{\text{saisonniers observés}}$ OU simplement la fréquence des assecs	à corrélérer avec l'indicateur « surface » ou l'indicateur « volume » proposé dans les indicateurs de pressions ; ATTENTION : tient compte des autres prélèvements	hydrogrammes + évaluation des débits naturels ; observations ponctuelles des assecs dans Onde
	Modification de l'hydrologie	Modification du régime des crues	nombre de jours au-dessus du $Q_{\text{morphogène}}$; nombre ou la fréquence des débordements	à corrélérer avec l'indicateur « volume » proposé dans les indicateurs de pressions si le remplissage est majoritairement en période de crue ; ATTENTION : tient compte des autres prélèvements que ceux pour alimenter les retenues	hydrogrammes + évaluation du débit morphogène
hydromorphologie	Modification des processus hydromorphologiques dans le CE	Évaluation du contexte général hydromorphologique	évaluation des probabilités d'altération via le protocole SYRAH (basé sur le ROE pas très bon en tête de bassin)	Voir les secteurs soumis au risque d'altération	données Syrah : http://www.data.eaufrance.fr/jdd/9c86a5da-88f4-4819-a84e-c09a69394a34
	Modification du transport sédimentaire dans le CE	Colmatage du lit observé en aval de retenue	observations <i>in situ</i> ou mesures sur les sites	bien délimiter les tronçons concernés (limite ou chiffrage du linéaire)	site de suivis Carhyce (colmatage via bâtonnet) ou observations ou mesure <i>in situ</i> (type conductivité hydraulique par exemple)
	Évolution morphologique du lit	Incision ou exhaussement du lit observé en aval de retenues	évaluer s'il y a des phénomènes d'érosion ou de dépôt via des observations de terrain ou en comparant plusieurs suivis de la morphologie du lit sur un même site	bien délimiter les tronçons concernés (limite ou chiffrage du linéaire)	mesures de la morphologie du lit : profils en long comprenant les différents ouvrages étudiés.

Figure 27 : Exemple d'indicateurs traduisant l'état des milieux aquatiques (2/2)

Caractéristique	Lien avec impact cumulé	Indicateur	Formule	Utilisation de l'indicateur	Variables / données nécessaires
physico-chimie	Dérèglement des processus physico-chimique sur le BV	Eutrophisation observée, bloom algal	nombre de jour où le phénomène est observé	si observé dans les retenues (production de microcystines), contraintes pour l'AEP ou d'autres usages (arrosage maraicher)	observation des blooms ou mesure de la qualité physico-chimique
physico-chimie / biologie	Modification des populations piscicoles	% espèces thermosensibles	voir dans les inventaires piscicoles disponibles (IPR) s'il y a une évolution de ces espèces thermosensibles et un lien avec la présence de retenues	si indicateur bas à certaines périodes : possible réchauffement des eaux	suivis des populations piscicoles avec une chronique la plus longue possible, traits biologiques
biologie	Modification des populations de macro-invertébrés	Indice DCE macroinvertébré (I2M2)	évolutions de la note I2M2 et de la répartition des Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères; voir outil diagnostique associé (fiche méthodologique 5)	en lien avec l'hydrologie, la granulométrie, l'étagement...les indices sont souvent peu ou pas sensibles suivant la nature du substrat, de l'altitude... ; à tester sur des BV	suivis DCE des populations macroinvertébrés avec une chronique la plus longue possible
	Modification de la faune piscicole réglementaire	Indicateur DCE poissons (IPR+)	évolutions de la note IPR+ et de la répartition des espèces		suivis DCE des populations piscicoles
	Modification de la faune et de la flore et perturbation des écosystèmes	Espèces invasives	nombre d'espèces invasives et répartition sur le BV ou surface/ linéaire occupé par ces espèces...	trouver un lien avec la densité de retenue ou leur connectivité entre elles ou avec le CE ?	recensement des espèces invasives sur le BV si possible avec évolution dans le temps
	Modification de la faune et de la flore et perturbation des écosystèmes	Espèces patrimoniales	nombre d'espèces aquatiques patrimoniales sur le BV	les espèces patrimoniales présentent des enjeux de protection plus ou moins importants selon les espèces = différents intérêts de conservation : privilégier l'utilisation de carte (voir fiche méthodologique 5)	recensement d'espèces patrimoniales Indicateur de présence historique Zonation à travers les zonages d'espaces protégés (ZNIEFF, Natura2000)
biologie / hydromorphologie	Bonne "habitabilité" de la rivière	Interaction continuité sédimentaire/ fonctionnalités biologiques (reproduction)	nombre de frayère amont/aval ; sinon voir méthode des microhabitats (fiche méthodologique 5)	retenues de type 2, 4 et 5 qui peuvent être accompagnées d'ouvrages dans le lit mineur du CE	recensement des frayères sur le cours d'eau
toutes	Évolution des milieux aquatiques sur le BV	Zones humides	évolution des surfaces de zone humide sur le BV		cartographie des zones humides avec si possible évolution temporelles

4.1.9 Une liste non exhaustive d'enjeux

Cette liste des enjeux liés à la présence de retenues sur le bassin versant est **une aide** pour lancer le recensement des enjeux d'un territoire. Elle n'est pas exhaustive et présente seulement les enjeux mis en avant lors des séminaires de travail. La liste finale des enjeux à prendre en compte sur le bassin versant étudié doit être **adaptée au contexte** local et peut être **complétée** par des enjeux non listés ci-dessous. Les enjeux listés sont à prendre en compte lors de la définition des zones « à risque » de l'étape 1 de la démarche, mais ils peuvent également être pris en compte dans la construction de scénarios de gestion et d'aménagement lors de l'étape 3.

Enjeux pour les milieux aquatiques

Enjeux hydrologiques

- Equilibrer la demande et la ressource en eau sur le bassin versant :
 - gestion des débits sur le bassin versant : débit d'étiage et nombre/fréquence d'assecs, débits hors étiage, débits hivernaux ;
 - cumul de retenues : en cas de retenues en série avec un même usage, il peut se poser un problème de quantité d'eau en aval et les retenues en aval finiront par le ressentir, par exemple avoir des problèmes de remplissage.
- Harmoniser les échanges avec la nappe ou avec des réseaux de drainage existant
- Gérer les crues : Prévention et limitation

Enjeux hydromorphologiques

- Minimiser l'impact des retenues sur la morphologie du cours d'eau (forme du lit et processus d'érosion ou de dépôt dans le lit)
- Rétablir la continuité sédimentaire

Enjeux physico-chimiques et qualité de l'eau

- Atteindre une bonne qualité chimique de l'eau selon la directive cadre européenne sur l'eau (DCE)
- Limiter l'eutrophisation, gérer les concentrations en nutriment (engrais...)
- Limiter les modifications de la température de l'eau
- Limiter la pollution (pesticide, métaux lourds...)

Enjeux biologiques et écologiques

- Répondre aux besoins du milieu (respect des débits minimum biologiques...)
- Préserver les habitats aquatiques, notamment pour les populations piscicoles
- Préserver des zones de repos pour les migrateurs, ce que les retenues peuvent être en fonction de leur gestion
- Protéger les espèces patrimoniales
- Lutter contre les espèces invasives
- Atteindre le bon état écologique (DCE)
- Rétablir la continuité écologique (DCE)
- Préservation et valorisation des zones humides
- Poursuite de l'entretien et de la restauration des cours d'eau

Enjeux climatiques : Prévoir et anticiper les modifications liées au changement climatique

- Anticiper si l'usage prévu des retenues peut être amené à décliner ou être modifié par le changement climatique
- Prendre en compte les projections
- Prévoir l'évolution de la variabilité intersaison : risque d'augmenter dans le futur avec une évaporation plus importante = comment être sûr de remplir entièrement les futures retenues tandis que les usages augmentent ?
- Prévoir et minimiser les évolutions thermiques liées aux retenues

Enjeux pour les usages

Enjeux paysagers

- Les retenues de substitution qui ne sont pas valorisées/valorisables (loisirs par exemple) ne sont pas forcément bien perçues au niveau paysager
- Les seuils de moulins sont souvent gardés juste pour leur aspect paysager et patrimonial

Enjeux changements globaux

- Un apport d'eau sécurisé provoque un changement d'occupation du sol ce qui fait apparaître de nouvelles pressions : des régions où les éleveurs se convertissent à la grande culture → pression phytosanitaire plus importante et qui n'existait pas forcément avant ces conversions + modification des besoins en eau → ces pressions peuvent avoir des impacts pour les milieux aquatiques au-delà de l'impact spécifique à la création de retenue et leurs impacts cumulés
- Prévoir l'impact des modifications de l'occupation du sol : Il y a peu de connaissance sur l'impact de la modification de l'occupation des sols mais cet impact est aussi important que le changement climatique. Par exemple le boisement qui diminue fortement le ruissellement.

Enjeux sanitaires

- Qualité de l'eau restituée et prélèvement d'eau pour l'alimentation en eau potable : nécessité de diluer d'éventuels rejets en amont de prélèvement AEP
- Présence de moustiques, d'espèces envahissantes, ou toxiques (cyanobactéries).

Enjeux gestions du parc de retenues et planification

- Optimiser l'exploitation des ouvrages
- Optimiser l'usage des retenues existantes : dans certaines retenues, toute l'eau de la retenue peut ne pas être utilisée à la fin de la saison d'irrigation alors qu'il y a des besoins autour. L'eau pourrait être utilisée par d'autre mais il y a des problèmes juridiques (selon la propriété de la retenue) ou techniques (d'apport d'eau sur le lieu à irriguer)
- Conchyliculture : avoir une gestion des niveaux d'eau qui convient à l'agriculture et à l'aquaculture
- Devenir des retenues non utilisées : que faire des retenues sans usage ? effacement de la retenue, réutilisation (faire du soutien d'étiage)
- Guider la conception de nouvelles retenues : Mode de restitution de l'ouvrage présente un fort enjeu sur la qualité et impacte le milieu ; limiter la segmentation : restitution à la fois dans le cours d'eau mais aussi dans un canal de dérivation en sortie d'ouvrage = perte d'eau pour les milieux aquatiques

Enjeux sociaux et économiques

- Maintenir un tissu agricole sur le bassin versant : agriculture durable (stable) et diversifiée
- Conserver les possibilités de remplissage pour les retenues existantes
- Répondre aux besoins en eau potable
- Maintenir la satisfaction des besoins en eau prélevable
- Maintenir les activités de loisir développées autour des retenues d'eau : site de baignade, chasse, pêche...
- Intégrer les changements climatiques à une meilleure utilisation/gestion de la ressource en eau (information /gestionnaire/grand public ; appropriation de nouvelles règles de gestion optimisée)

4.2 Des fiches méthodologiques pour étudier l'impact cumulé des retenues

Dans cette section sont décrits en détail certains outils qui peuvent être mobilisés pour mieux caractériser l'impact cumulé des retenues. Ils peuvent être mobilisés notamment dans les étapes 2 et 3 de la démarche.

Ces fiches méthodologiques ne sont **pas exhaustives** et d'autres outils peuvent être mis en œuvre dans les études de l'impact cumulé des retenues. Ces fiches ne fournissent que des pistes à partir des méthodes relevées dans la bibliographie.

Les fiches méthodologiques proposées présentent pour chaque outil : son principe, les données nécessaires pour le mettre en œuvre, ses avantages et ses inconvénients et des références l'ayant décrit ou mis en œuvre.

Tous les outils ne peuvent être mis en œuvre tels quels, il convient de sélectionner les plus adaptés ou adaptables au contexte local. Il est précisé dans les fiches le niveau de difficulté pour les adapter : les outils **applicables** avec une adaptation mineure aux références locales ou aux études d'impact des retenues, les outils **à ajuster** au cadre du cumul des impacts avec un minimum de temps ou d'expertise et les outils **à adapter** qui demandent des développements supplémentaires avec du temps et un bon niveau d'expertise pour qu'ils puissent être utilisés dans le cas d'étude de cumul d'impact. La dernière partie des fiches recense des outils qui ont été identifiés comme intéressants mais qui nécessitent des études poussées pour leur adaptation à l'étude des impacts cumulés des retenues d'eau. Ils pourront être testés lors de la phase d'appel à projets.

Applicable

A ajuster

A adapter

Fiche méthodologique 1 : Caractérisation des retenues

Fiche méthodologique 2 : Hydrologie et modélisation

Fiche méthodologique 3 : Hydromorphologie

Fiche méthodologique 4 : Physico-chimie

Fiche méthodologique 5 : Ecologie et fonctionnalité des habitats

5. Conclusion et perspectives

Ce rapport fournit donc :

- une démarche et des outils pour réaliser l'étude des impacts cumulés **des retenues d'eau présentes sur un bassin versant** ;
- un cadre et des outils pour réaliser les études des impacts cumulés **des projets de création de retenue**.

La démarche proposée reste souple et elle doit être adaptée au contexte local de chaque étude. Les études à l'échelle du bassin versant devront trouver un porteur local qui diffusera largement leurs résultats. Les porteurs de projets pourront alors réaliser les études d'impacts cumulés pour leur projet de création de retenue en se basant sur le cadre fourni par l'étude du bassin versant. Dans l'attente de la réalisation de l'étude du bassin, les pétitionnaires pourront s'inspirer de la démarche proposée dans ce rapport, en la simplifiant, pour réaliser leurs études.

Comme l'a mis en avant l'Esco, si les impacts d'une retenue sur les milieux aquatiques ont été bien étudiés, il y a encore des lacunes dans la connaissance du cumul de ces impacts en présence de nombreuses retenues. Ce rapport ne propose donc aucun « outil incontournable » qui peut être utilisé dans toutes les études de l'impact cumulé. Les outils proposés doivent être adaptés au contexte local et le rapport ne fournit aucun seuil ou aucune valeur guide, qui doivent là aussi être définis selon le contexte local. Les listes d'outils et de méthodes proposées ne sont pas exhaustives et pourront être étoffées avec l'avancée des connaissances sur les impacts cumulés des retenues d'eau sur les milieux aquatiques.

Perspectives

Plusieurs outils, proposés dans la dernière partie « perspectives » de chaque fiche méthodologique, sont pressentis comme intéressants mais n'ont pas encore été mis en application dans le contexte d'études d'impacts cumulés de retenues d'eau. Ils doivent donc être adaptés ou faire l'objet de développements plus poussés avant de pouvoir être utilisés dans des études de l'impact cumulé des retenues. Plusieurs outils pourraient faire l'objet de travaux de recherche et de développement dans les années à venir.

Pour donner suite à ce rapport, la démarche proposée va être mise en œuvre sur différents territoires. Favoriser les échanges entre ces études permettra d'améliorer les connaissances sur l'impact cumulé des retenues et préciser les outils pertinents à mobiliser pour étudier ces impacts. Il pourra alors être envisagé de lancer une réflexion sur l'homogénéisation de ces méthodes et des préconisations issues de ces études. Cette réflexion pourrait permettre d'identifier des indicateurs ou des outils pertinents selon les contextes et de donner des ordres de grandeur pour définir des seuils de vigilance, et non plus seulement des valeurs guides. Une phase d'appel à projets va donc être lancée pour accompagner la mise en œuvre de la démarche dans des études des impacts cumulés à l'échelle de bassins versants et faire un bilan des expériences acquises.

6. Annexes



Annexe A - Listes des participants au projet

1. Les membres de l'étude

Équipe projet Esco :

Nadia Carluer, responsable scientifique de l'étude, Irstea

Béatrice Leblanc, coordinatrice de l'étude, Irstea

Sarah Mosnier, chargé de communication, Irstea

Documentalistes :

Anne-Laure Achard, Irstea

Marie-Pascale Baligand, Irstea

Sybille De Mareschal, Irstea

Catherine Donnars, Depe Inra

Comité de pilotage		
Bénédicte	Augeard	ONEMA / Direction de l'action scientifique et technique
Romuald	Berrebi	ONEMA / Direction de l'action scientifique et technique
Daniel	Berthault	MEEM/DEB
Aurélie	Carroget	MEEM/DEB
Patrick	Flammarion	Irstea
Chantal	Gascuel	INRA
Paul	Gonthier	Irstea
Nicolas	Poulet	ONEMA Toulouse
Bertrand	Schmitt	INRA

Comité d'experts		
Marc	Babut	Irstea
Jérôme	Belliard	Irstea
Ivan	Bernez	Agrocampus Ouest
Delphine	Burger-Leenhardt	INRA
Jean-Marcel	Dorioz	INRA
Olivier	Douez	BRGM
Simon	Dufour	Université de Rennes 2
Catherine	Grimaldi	INRA
Florence	Habets	CNRS
Nicolas	Lamouroux	Irstea
Yves	Le Bissonnais	INRA
Jérôme	Molénat	INRA
Anne-Julia	Rollet	Université de Rennes 2
Sabine	Sauvage	CNRS
Philippe	Usseglio-Polatera	Université de Lorraine

Annexe A

Comité de suivi		
Heriniaina	Andriamahefa	Agence de l'eau Seine Normandie
Pierre	Barbier	DDTM 85
Dominique	Beaudou	ONEMA Méditerranée
Gilles	Bernad	DDT Tarn
Colas	Boudet	ONEMA Pays de la Loire
Eric	Boursin	DREAL Midi-Pyrénées
Julie	Mons	DREAL Midi-Pyrénées
Juliana	Carbonel	Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Gaëlle	Corcy	MAAF
Michel	Delprat	ONEMA Rhône-Alpes
Floriane	Di Franco	Assemblée permanente des chambres d'agriculture (APCA)
Francis	Gayou	ONEMA Sud-Ouest
Frédéric	Leseur	DREAL Pays de la Loire
Isabelle	Le Strat	Agence de l'eau Loire-Bretagne
Timothée	Leurent	Agence de l'eau Adour-Garonne
Marine	Coudret	Agence de l'eau Adour-Garonne
Alix	Nihouarn	ONEMA Pays de la Loire
Rémi	Oudin	DREAL Centre, délégation de bassin Loire-Bretagne
François-Marie	Pellerin	France Nature Environnement
Bastien	Pellet	Agence de l'eau Seine Normandie
Thomas	Pelte	Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Laurent	Rimbault	DREAL Pays de la Loire
Arnaud	Sournia	DREAL Midi-Pyrénées
Vincent	Vauclin	ONEMA Poitou-Charentes
Thomas	Viloingt	Agence de l'eau Loire-Bretagne
Claire	Riou	Agence de l'eau Rhin-Meuse
Pierre	Mangeot	Agence de l'eau Rhin-Meuse
Philippe	Goetghebeur	Agence de l'eau Rhin-Meuse
Frederic	Raout	DREAL Seine Normandie

Comité de suivi élargi		
François	CAZOTTES	DDT Lot-et-Garonne
Manon	DUBLET	Bureau d'études Lacs - UNICOQUE
Jean-Luc	REIGNE	Bureau d'études Lacs - UNICOQUE
Jacques	DE LA ROCQUE	Bureau d'études Cereg Ingénierie Sud-Ouest
Fabien	CHRISTIN	Bureau d'études Cereg Ingénierie Sud-Ouest
Philippe	BARRIEU	DDT Gers
Damien	BANAS	Université de Lorraine
Johanne	PERTHUISOT	DDT Lot-et-Garonne

2. Les participants aux réunions de travail

Liste des participants à la réunion nationale des 27-28 avril 2016

Présents		
AMEN	Jean François	CACG
AUGEARD	Bénédicte	Onema
BARRIEU	Philippe	DDT 32
BEAUDOU	Dominique	Onema
BELLEVILLE	Romain	Safege
BERREBI	Romuald	Onema
BILLAULT	Pascal	Agence de l'eau Loire-Bretagne
CARBONNEL	Julianna	Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse
CARLUER	Nadia	Irstea
CARROGET	Aurélie	MEDDE
CHRISTIN	Fabien	Cereg Ingénierie
CORCY	Gaëlle	MAAF
DANIS	Pierre-Alain	Onema
DAUBAS	Mathias	Agence de l'eau Adour-Garonne
DE LA ROCQUE	Jacques	Cereg Ingénierie
DOUEZ	Olivier	BRGM
DUFOUR	Simon	Université Rennes 2
GAYOU	Francis	Onema / Dir Sud-Ouest
GRIMALDI	Catherine	Inra
HABETS	Florence	CNRS
LALOUX	Solène	CACG
LAMOUREUX	Nicolas	Irstea
LE BISSONNAIS	Yves	Inra
LEBLANC	Béatrice	Irstea
LEURENT	Thimothée	Agence de l'eau Adour-Garonne
MOSNIER	Sarah	Irstea
LOUDIN	Rémi	DREAL Centre Val de Loire - Délégation Bassin Loire-Bretagne
PELLERIN	François-Marie	FNE
PILLET	Marc-Antoine	CALLIGEE
SOURNIA	Arnaud	DREAL Midi-Pyrénées
USSEGLIO-POLATERA	Philippe	Université de Lorraine
VILOINGT	Thomas	Agence de l'eau Loire-Bretagne

Liste des participants à la réunion nationale du 13 octobre 2016

Augeard	Bénédicte	Onema
Barrieu	Philippe	DDT32
Berrebi	Romuald	Onema
Berthault	Daniel	MEEM
Carluer	Nadia	Irstea
Corcy	Gaëlle	MAAF
Doublet	Manon	Unicoque
Oudin	Rémi	DREAL DB LB
Reigne	Jean-Luc	Unicoque
Pellerin	François Marie	FNE
Mosnier	Sarah	Irstea
Leurent	Timothée	AE AG
Gayou	Francis	Onema
Perthuisot	Johanne	DDT47

Cristin	Fabien	Cereg Ingenierie
Banas	Damien	Univ Lorraine
Carbonel	Juliana	AE AG

3. Les participants aux séminaires régionaux

Organisation : Sarah Mosnier (Irstea), Nadia Carluer (Irstea), Bénédicte Augeard (Onema), Berrebi Romuald (Onema), Cécile Bellot (Onema)

Liste des participants au séminaire Loire-Bretagne du 1^{er} décembre 2016

ABASQ	Léna	BRGM
BELLIARD	Jérôme	Irstea Anthony
BERNEZ	Ivan	Agrocampus Ouest
BERTHAULT	Daniel	MEEM
BEVE	Marie-Noëlle	DDTM Vendée
BILLAULT	Pascal	Agence de l'eau Loire-Bretagne
BORDES	Christophe	Fédération de pêche des Deux-Sèvres
BOUDET	Colas	ONEMA
BOUSQUET	Maud	Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres
CHAIGNEAU	Alexandre	Chambre d'agriculture de Maine et Loire
CHARRUAU	François	Syndicat du bassin versant de Grand Lieu
CHÂTEAU	Nelly	Communauté de communes Hermitage-Tournonais (RMC)
CORNUAULT	Nicolas	DDT Deux-Sèvres
DU PEUTY	Jean Eudes	Etablissement Public du Marais Poitevin
FARINEAU	Séverine	Agence de l'eau Loire-Bretagne
GASCUEL	Chantal	INRA Rennes
GRIGNON	Jean-Michel	Fédération de pêche des Deux-Sèvres
GUERIN	Claude	Res'eau Clain (BV)
LANOISELEE	Cédric	BE Géo-Hyd
LAUNAY	Josette	CRESEB + Conseil scientifique de l'environnement de Bretagne
LE MOUEE	Dylan	Syndicat du bassin du Scorff
LE ROUX	Bruno	ONEMA délégation Bretagne Pays de la Loire
LE ROY	Yoann	Etablissement Public du Marais Poitevin
LETESSIER	Laure	DREAL Pays de la Loire
LOUCHARD	Benoît	Chambre d'agriculture du Loiret
MANELPHE	Jean	Syndicat du bassin du Scorff
OLIVIER	Yannick	DREAL Nouvelle Aquitaine
OUDIN	Rémi	DREAL Centre Val de Loire
PELLERIN	François-Marie	FNE Réseau Eau et Milieux aquatiques
PILLET	Marc-Antoine	Bureau d'étude Calligée
POIRSON	François	Coop de France Poitou-Charentes (réseau de coopératives agricoles)
POUSSIN	Fabien	SYRES 17 / Syndicat mixte des réserves de substitution de la Charente-Maritime
PRIOL	Morgan	DDT de la Vienne
PRIOU	Ludovic	Syndicat Mixte des Marais de la Vie, du Ligneron et du Jaunay
RENOULLIN	Maëlle	CEREG Ingénierie
RIMBAULT	Laurent	DREAL Pays de la Loire
VILONGT	Thomas	Agence de l'eau Loire-Bretagne
WILLOT	Pierre-Alexandre	INRA UMR SAS

Annexe A

Liste des participants au séminaire Rhône-Méditerranée & Corse du 6 décembre 2016

BALLOFFET	Emmanuel	DREAL Occitanie
BARALE	Séverine	ONEMA
BARRIEU	Philippe	DDT du Gers
BELLIARD	Jérôme	Irstea Anthony
CARBONEL	Juliana	Agence de l'eau RM&C
CHÂTEAU	Nelly	Communauté de commune Hermitage-Tournonais
CHRISTIN	Fabien	CEREG
COURBIS	Charlotte	DDT Hérault
CREPIN	Daniel	Conservatoire d'espaces naturels du LR
DAGES	Cécile	INRA
DREMAUX	Florian	Unicoque ANPN
DUBLET	Manon	Unicoque ANPN
EUDES	Isabelle	Agence de l'eau RM&C
GOURBINOT	Olivier	France Nature Environnement LR
GROUD	Fabien	CCE&C
GUESNON	Gabriel	DDT Ardèche
HENRY VILLENEUVE	DE Caroline	DREAL Auvergne-Rhône-Alpes
LAFON	Christophe	Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie
LEBON	Nicolas	Ingénieur d'étude
LE BISSONNAIS	Yves	INRA
LEENHARDT	Delphine	INRA
MOLENAT	Jérôme	UMR LISAH
MOURET	David	Conseil départemental de l'Aude
PERIER	Régis	Chambre d'agriculture
PITON	Noel	Chambre d'agriculture PACA
ROLLIN	Dominique	Irstea
THELEMAQUE	Elise	FRAPNA Ardèche

Annexe A

Liste des participants au séminaire Adour-Garonne du 13 décembre 2016

ADNET	Catherine	Agence de l'eau Adour-Garonne
ARGILLOS	Frédérique	Agence de l'eau Adour-Garonne
ARNAULD	Elisabeth	SEPANSO (association de protection de l'environnement)
ARRUTI	Christophe	DDTM des Landes
AVINENT	Ghislaine	FDAAPPMA Fédération de pêche Lot et Garonne
BAQUE	Thierry	Chambre d'agriculture du Gers
BARRIEU	Philippe	DDT du Gers
BERTHAULT	Daniel	MEEM
BIERNE	Sandra	DDT du Tarn
BOURGOUIN	Sarah	DREAL Occitanie
CACHARD	Julien	Syndicat mixte du bassin de la grande séoune
CHARRIERE	Séverine	Agrosolutions
COUPRY	Bruno	Eau CA
DAUBAS	Mathias	Agence de l'eau Adour-Garonne
DAUMAS	Florence	EPIDOR-EPTB Dordogne
DE LA ROCQUE	Jacques	Cereg Ingénierie Sud-Ouest
DELRIEU	Henri	APRA "le Chabot"
DOUEZ	Olivier	BRGM
DUCOURNAU	Yann	Conseil Départemental du Gers
DUPOUTS	Cécile	Communauté de communes des deux rives
ENON	Fabrine	Syndicat Mixte Vendée Sèvre Autizes
ESTIENNE	Marie	UMR AGIR - INRA Toulouse
FONTENY	Sylvie	Conseil Départemental Charente-Maritime
GABRIEL	Hugo	Chambre d'agriculture du Tarn
GAYOU	Francis	ONEMA DiR Occitanie
GOUBARD	Jean-Paul	Mairie du Pont-du-Casse - SMAML
HABETS	Florence	CNRS
ICHARD	Pierre-Jean	Syndicat Mixte du Bassin Versant du Viaur
JEAN	François	DDT Ariège
LALOUX	Solène	BE CACG
LAROCHE	Marc	DDT Corrèze
LARROUSSE	Johanna	UFBAG - Union des fédérations de pêche du bassin AG
LASSALE	Philippe	DDT Tarn-et-Garonne
LAURENS	Aurélié	DREAL Occitanie
LEENHARDT	Delphine	INRA
LEURENT	Timothée	Agence de l'eau Adour-Garonne
LYVINEC	Pascale	Syndicat Mixte de Rivière Tarn (SMRT)
MARTIN	Sabine	France Nature Environnement Midi-Pyrénées
MATHIEU	Stéphane	Conseil Département du Tarn
MOLINA	Quentin	Fédération pêche Lot-et-Garonne
NOYER	Cécile	Entente interdépendantale du Bassin du Lot
PELLERIN	François-Marie	France Nature Environnement
PERTHUISOT	Johanne	DDT Lot et Garonne
PICHODOU	Kristell	Conseil Départemental de la Charente-Maritime
PINCE	Christian	Lisle Environnement / association environnementale
PONS	Marie-Laure	Institution Adour
POULET	Nicolas	ONEMA
REIGNE	Jean-Luc	Bureau d'étude UNICOQUE / ANPN
SAPHY	Alain	GIE Thématik' / groupement de 13 filières agricoles et agro-alimentaires
SOURNIA	Arnaud	DREAL de bassin Adour-Garonne
TUFFERY	Michel	DRAAF Occitanie

Annexe B – Quelques rappels issus de l'ESCo sur les méthodes d'estimation du cumul et des impacts

1. Les différentes méthodes de cumul

Les impacts cumulés peuvent être :

- **homotypiques** : les impacts cumulés résultent de multiples aménagements du même type ;
- **hétérotypiques** : les impacts cumulés résultent de la combinaison de plusieurs aménagements différents.

Dans le rapport de l'Esco, plusieurs types de cumul des impacts ont été relevés :

- **processus additif** : l'impact total est égal à la somme des impacts des aménagements et des effets d'interaction, addition négative ou positive selon que les effets soient infra ou supra additifs :
 - **supra-additif** : l'impact cumulé est plus important que la somme des impacts,
 - **infra-additif** : l'impact cumulé est moindre que la somme des impacts.
- **processus incrémentale** : par palier

Suivant les différents cas de réponse de l'environnement aux modifications induites par la mise en œuvre des projets, les impacts cumulés peuvent aussi être classés comme :

- **directs** : correspondent au cas d'un stimulus (changement dans les variables environnementales) ou d'une réponse simple de l'environnement aux modifications ; les impacts les plus simples à comprendre et à gérer ;
- **indirects** : cas où les réponses sont des relations de second ordre ou plus élevé qui agissent à travers un ensemble de stimuli et réponses ;
- **multivariés** : cas de réponses à des stimuli multiples avec des interrelations qui agissent de concert pour induire une réponse.

La difficulté est d'évaluer en même temps les impacts directs et les indirects. Ainsi, les effets directs des retenues ont été plus étudiés (hydrologie) que les impacts indirects et multivariés (biologie).

2. Des impacts variant spatialement et temporellement

Des variations spatiales de l'impact des retenues

Il y a de fortes variations de l'importance d'un impact pour un même type de retenue suivant :

- le **contexte local et régional** des retenues, par exemple pompage dans une nappe très réactive ou peu réactive :
 - la géologie/pédologie : capacité des sols à l'infiltration et au ruissellement de l'eau (rejoint également le relief via l'importance de la pente),
 - l'hydrogéologie : présence ou non d'une nappe plus ou moins réactive et lien avec la retenue,
 - le relief du bassin versant : vitesses des écoulements et brassage de la colonne d'eau plus ou moins importants, dilution de l'eau restituée dans le cours d'eau plus ou moins rapide selon le type de cours d'eau...,
 - le climat du bassin versant : une retenue collinaire captera un % plus ou moins important des écoulements suivant la pluie efficace sur le BV, des températures plus ou moins variables et élevées, de l'importance de l'évaporation...

- la **diversité des types** de retenues ;
- la **position des retenues** sur le bassin versant. Une retenue collinaire a un impact qui se fera proportionnellement **plus** ressentir à l'amont du bassin versant qu'à l'aval (capte un % plus important des écoulements) ;
- la **succession et la distance entre les retenues**. Pour un même impact, le type de cumul ne sera pas forcément le même suivant la succession des retenues.
 - **La succession le long du cours d'eau des retenues**. Comme illustré dans la Figure 28, dans le cas du piégeage de sédiments, lorsque deux retenues sont éloignées (sur deux sous bassins différents) le cumul à l'exutoire du bassin versant est *additif* ; lorsque les deux retenues s'enchainent sur un même sous bassin, une partie de l'impact de la retenue amont (b') est « absorbée » par la retenue aval (a), le cumul est alors *infra-additif* et l'impact à l'exutoire est plus faible que dans le cas précédent.

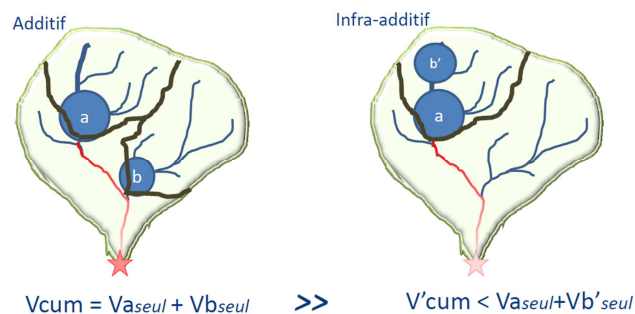


Figure 28 : Effets cumulés sur le piégeage des sédiments selon la position relative des retenues : effet de l'ajout de la retenue b (figure issue de la présentation de l'Esco, séminaire en région décembre 2016)

Pour chaque impact, il faut déterminer sa méthode de cumul sur le bassin versant, qui dépendra notamment de la localisation et de la connexion des retenues.

- **la distance entre les retenues**. Certains effets pourront s'additionner si les retenues sont proches. Une notion importante pour évaluer l'effet cumulé est la « distance d'influence » ou la « distance de retour » (voir Figure 29). La distance de retour correspond à la distance nécessaire à l'aval de chaque retenue pour que la variable considérée revienne au niveau qu'elle aurait sans la retenue. Si les retenues sont proches, avec une distance entre les retenues inférieure à la distance d'influence, l'effet pourra alors se cumuler avec, comme sur l'exemple ci-dessous, une intensité de l'impact accrue à l'aval du bassin versant (processus *supra-additif*). Ce type de réponse peut être observé pour la température ou l'oxygène à l'aval des retenues.

➤ **Température, O₂, concentrations** : variables non additives mais effet potentiellement cumulé

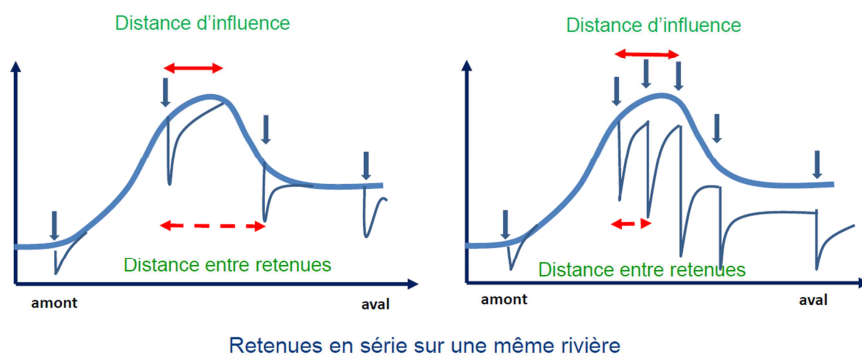


Figure 29 : Concept de discontinuité en série et effet des impacts cumulatifs de retenues sur un même cours

d'eau déterminé, à gauche sans effet cumulatif, à droite avec effet cumulatif (proposé par Bergkamp (2000)⁶ et adapté de Ward et Stanford (1995)⁷, rapport phase 2 chapitre 5 figure 22).

Des variations temporelles de l'impact des retenues

Il faut prendre en compte que l'impact des retenues varie dans le temps, avec :

- **des variations saisonnières.** De nombreux impacts varient au cours de l'année ou en fonction des saisons (comme par exemple sur la température et l'évaporation plus élevées en été...), mais aussi en fonction des périodes d'utilisation de la retenue (pompage en étiage ou en hautes eaux...)
- **des variations interannuelles.** Certains impacts vont être plus ou moins importants selon les années. Par exemple l'impact entre les années sèches et les années humides est différent, comme cela a été mis en évidence dans l'Esco : « L'effet d'un réseau [de retenue] est d'autant plus important que l'année est sèche, c'est-à-dire marquée par de faibles précipitations et/ou des débits inférieurs aux moyennes interannuelles » (rapport phase 2, chapitre III, p57).
- **des variations à long terme.** Certains impacts mettront plusieurs années à se mettre en place, comme par exemple l'implantation progressive d'espèces invasives, le changement de structure des populations, la morphologie du cours d'eau, la modification de la disponibilité de la ressource en eau lié au changement climatique...

Pour prendre en compte ces variations temporelles, il faut avoir à disposition des chroniques de données les plus longues possibles, ce qui n'est pas toujours le cas.

De plus, pour cumuler un même impacts, il faut majoritairement que les processus induisant ces impacts se déroulent simultanément ou qu'ils **soient assez rapprochés dans le temps**. Par exemple si deux pompages viennent prélever de l'eau dans la rivière mais l'un en été et l'autre en hiver, ces deux pompages feront diminuer les niveaux d'eau, mais ils ne se cumuleront sans doute pas car ils n'impactent pas le milieu au même moment. Cependant, certains impacts, notamment sur la biologie, mettent un certain temps à s'exprimer pleinement. Ils pourront donc se cumuler même si les processus les ayant induits ne sont pas simultanés.

⁶ Bergkamp, G., M. McCartney, P. Dugan et J. McNeely (2000). Dams , Ecosystem Functions and Environmental Restoration: 200-200.

⁷ Ward, J. V. et J. A. Stanford (1995a). "Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation." Regulated Rivers-Research & Management 11(1): 105-119.

7. Fiches méthodologiques



1

Fiche méthodologique :

Caractérisation des retenues

Cette fiche propose quelques outils permettant de recenser les retenues présentes sur un bassin versant ou d'évaluer leurs caractéristiques (surface, volume...) lorsque celles-ci ne sont pas connues et pour ne pas avoir à réaliser un inventaire de terrain systématique :

1. Identifier et évaluer les caractéristiques des retenues par une méthode géomatique en utilisant des bases de données existantes
2. Transposer les caractéristiques de certaines retenues à l'ensemble des retenues du bassin versant : connexion au cours d'eau et volume de la retenue
3. Outils nécessitant un développement supplémentaire et perspectives de recherche
 - 3.1. Déterminer les caractéristiques des retenues par télédétection
 - 3.2. Caractériser la connectivité des retenues sur le BV

1. Identifier et évaluer les caractéristiques des retenues par une méthode géomatique en utilisant des bases de données existantes

1.1. Principes de la méthode

La BD Topo, réalisée par l'IGN, fournit un recensement des surfaces en eau naturelles ou artificielle sur le territoire français. Chalabert (2013) propose une méthode pour **identifier les retenues** (parmi les différents types de surface en eau) et **évaluer leurs caractéristiques**, grâce à une méthode géomatique à large échelle à partir de la BD Topo, des données des DDT et d'un MNT. Cette méthode vise à identifier :

- le **type** de retenue (dit « plan d'eau » dans l'étude) : grande retenue, gravière, retenue de barrage, substitution, mare et étang, réservoir, ...
- le **mode d'alimentation** : par le cours d'eau (sur cours d'eau, en dérivation, avec pompage), par ruissellement, par la nappe alluviale, ...
- le **volume des retenues**

Cette méthode, testée au sein du bassin Adour-Garonne, a donné les résultats suivants :

- en première approche, le **type** n'a pu être estimé que pour **48 % des plan d'eau** (représentant **84 % des surfaces**), ce qui signifie que l'identification automatique des retenues (type de plan d'eau) est difficile, voire impossible pour les petites surface en eau ;
- le **mode d'alimentation** a été déterminé en fonction de la distance métrique des retenues au réseau hydrographique. Pour ce paramètre, une validation a été tentée sur un petit territoire avec des valeurs

A ajuster

de **bon classement respective de 56, 69 et 76 %** pour les retenues en dérivation, les retenues « ruissellement/source » et les retenues sur cours d'eau ;

- Cette méthode permet de caractériser **la surface** des plans d'eau avec une fiabilité **d'environ 90 %** par rapport à des mesures terrain ;
- une caractérisation du **volume des plans d'eau** est proposée. Malheureusement, il en ressort que la **caractérisation des volumes retenus par les retenues à large échelle reste délicate**. Par exemple, selon cette approche 68 % des plans d'eau ont un volume nul. Une caractérisation fine et exhaustive du volume peut être réalisée par des mesures de terrain mais au prix d'un travail souvent assez long et coûteux.

Cette étude montre qu'il n'est pas évident de caractériser des retenues via des méthodes géomatiques mais celles-ci pourraient venir compléter les informations déjà disponibles et être validées par des suivis de terrain ciblés, qui représentent un investissement très important.

Échelle : Sur tout un bassin versant.

1.2. Données nécessaires

- la BD ortho de l'IGN composée d'ortho-photographies (Bartout et Touchart, 2013)⁸. Cependant, l'utilisation de cette base de données nécessite un travail de photo-interprétation ou de traitement qui peut être assez long lorsque le bassin étudié est très grand (il existe des méthodes de traitement semi-automatiques mais qui nécessitent une certaine technicité).
- un recensement basé sur un traitement de la BD topo® « SURFACE_EAU » de l'IGN. La méthode de Chalabert (2013) utilisant cette base de données est explicitée dans le document cité en référence.
- Données des DDT fournissant des caractérisations *in situ* de certaines retenues
- MNT de la BD Alti de l'IGN à 25 m

1.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche permet d'évaluer le nombre, la localisation et des caractéristiques des retenues (type, mode d'alimentation, volume) présentes sur un bassin versant, sans avoir recours à des inventaires de terrain.

Points faibles : Cette approche utilise la BD Topo où tous les départements ne sont pas couverts pour les mêmes dates et il existe des problèmes de remise à jour des données, qui n'est pas régulière. Les bases de données utilisées doivent faire l'objet d'un traitement pour isoler les plans d'eau et permettre de les localiser. Cette approche présente de **très fortes incertitudes** concernant l'identification des petites retenues.

1.4. Référence de la méthode

Chalabert, N. (2013). Identification et caractérisation des retenues à usage irrigation sur le bassin Adour-Garonne. Rapport de stage Master 2 Géomatique, INRA Université de Toulouse.

⁸ Bartout, P. et L. Touchart (2013). L'inventaire des plans d'eau français: outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. Annales de géographie, Armand Colin/Dunod

2. Transposer les caractéristiques de certaines retenues à l'ensemble des retenues du bassin versant : connexion au cours d'eau et volume de la retenue

Si un recensement de toutes les retenues présentes sur le bassin versant représente un travail considérable, il peut être envisagé de prospector certaines retenues du bassin versant et d'extrapoler leurs caractéristiques observées à l'ensemble des retenues présentes sur le bassin versant (ou d'extrapoler des informations fiables déjà connues sur certaines retenues représentatives du bassin versant, issues par exemple des données des DDT).

A ajuster

2.1. Principe de cette approche

Il faut au préalable avoir une idée des retenues présentes sur le bassin versant pour prospector des retenues caractéristiques de l'ensemble des retenues (qui peuvent être obtenues grâce à la méthode géomatique précédente). Il convient alors de réaliser une enquête ou une prospection sur les sous bassins versants ou les portions de sous bassins versants ciblés pour connaître les caractéristiques d'un échantillon de retenues représentatives du bassin versant.

Les caractéristiques observées peuvent alors être extrapolées aux autres retenues ou aux autres sous bassins versants. Cette extrapolation peut notamment concerner la position des retenues par rapport au cours d'eau ou la relation entre la surface de la retenue et son volume total ($V=f(S)$), qui semble être une relation assez stable par contexte.

Points d'attention : La majorité des études appliquant ce type de méthode obtiennent des résultats statistiquement significatifs mais elles portent presque exclusivement sur des grands plans d'eau et mobilisent des données dont la résolution spatiale ne permet souvent pas de caractériser les petits plans d'eau.

Échelle : À l'échelle du bassin versant

2.2. Quelques formules liant la surface de la retenue à son volume

Concernant les caractérisations volumétriques, les formules proposées dans la bibliographie se présentent majoritairement sous la forme : **volume = a . superficie^b**, où a et b sont des variables **calibrées empiriquement**. Comme l'illustre la Figure 30 les valeurs des paramètres a et b peuvent être très variables et doivent donc être définies spécifiquement pour la zone étudiée. Comme cela est rapporté dans l'Esco, si cette approche peut s'avérer approximative à l'échelle de la retenue, l'évaluation globale des volumes à l'échelle de grand bassin versant semble suffisamment correcte pour justifier son emploi (McMurray 2004, in Thompson 2012⁹).

La formule obtenue est donc calée pour le bassin versant étudié et n'est donc pas transposable d'emblée à d'autres bassins versants.

⁹ Thompson, J. C. (2012). *Impact and Management of Small Farm Dams in Hawke's Bay, New Zealand*

Figure 30 : Exemple de relations entre le volume et la superficie des retenues issues de plusieurs études, $V =$ volume en m^3 et $A =$ surface en m^2 (Thompson 20129, issue de l'ESCo chapitre 2 p.15)

Relation Surface (S)- Volume (V)	Méthode de calcul	Zone d'étude
$V=0.0016.S^{1.56}$ $V=0.077.S^{1.3}$	Les différences dans les relations sont attribuées à des différences dans le relief	Deux BV en Afrique du Sud.
$V=0.187.S^{1.25}$ $V=0.0738.S^{1.25}$	18 retenues d'un volume jusqu'à 100 ML Botswana. 15 petites retenues mesurées parmi 305	Australie. Botswana.
$V=0.2.S^{1.2004}$	Méthode non renseignée	Australie.
$V=0.44.S^{1.4}$	Australie. 26 retenues d'un volume compris entre 2 et 39 ML	Australie.
$V=1.6 S-108.6$ $V = 3.5 S - 5742.5$	$S < 3\ 000m^2$, forte demande d'irrigation $S > 3\ 000m^2$, forte demande en irrigation. 100 retenues pour la plupart < 50 ML	Australie.
$V=0.17557.S^{1.2732}$	42 retenues mesurées	Australie.
$V = 16 S$ $V = 20 S$	Relief de plaine. $S < 50\ 000m^2$ Relief de collines. $S > 50\ 000m^2$	Afrique du Sud
$V=2.S^{1.25}$ $V= 2.2 S$ $V=0.215.S^{1.16}$ $V=2.8.S$	Faible demande. $S < 15\ 0000\ m^2$ Faible demande. $S > 15\ 0000\ m^2$ Forte demande. $S < 20\ 0000\ m^2$ Forte demande. $S > 20\ 0000\ m^2$	Australie
$V = 0.145.S^{1.314}$	152 retenues de 0.4 à 420 ML	Australie
$V = 0.002.S^{1.0713}$ $V = 2.10^{-7}.S^{1.92}$	Retenues dans des rigoles > 10 ML Retenues en zone plate > 10 ML Base de données d'inventaire	Nouvelle Zélande

2.3. Données nécessaires

- Cartographie du réseau hydrographique avec les rivières et la localisation des retenues
- Caractéristiques d'un certain nombre de retenues (connaissance préalable ou relevé de terrain)

2.4. Avantages et inconvénients

Points forts : Permet de limiter les investigations à un ensemble ciblé de retenues.

Points faibles : Cette approche présente des approximations importantes qui peuvent être compensées si les extrapolations sont effectuées sur de grandes échelles spatiales comportant de nombreuses retenues. En l'absence de la disponibilité de données fiables sur un nombre conséquent de retenues, l'acquisition des données surface/volume sur le terrain peut exiger beaucoup de temps. Les relations obtenues entre la surface et le volume des retenues ne sont pas transposables à d'autre bassin versant.

3. Outils nécessitant un développement supplémentaire et perspectives de recherche

3.1. Déterminer les caractéristiques des retenues par télédétection

Comme cela est rapporté dans l'Esco, il est possible de déterminer certaines caractéristiques des retenues sur la base d'informations issues de télédétection, notamment la **localisation** et la **surface des retenues**. Certaines méthodes de télédétection pourraient aussi permettre de déterminer les usages de retenues et les périodes de remplissage et

A ajuster

d'utilisation de l'eau de la retenue (variation des niveaux d'eau des retenues, niveau d'eau à la fin de la période d'irrigation...), mais cela reste à développer.

Plusieurs méthodes d'acquisition de données par télédétection mais aussi de traitement des données acquises par télédétection sont disponibles (Figure 31). La majorité des études réalisées sur les plans d'eau se basent sur des images aériennes ou satellites, comme indiqué dans le chapitre 2 de l'Esco. Les principales différences entre ces sources de données sont la **résolution spectrale** des images, c'est-à-dire la richesse de l'information disponible, la **résolution spatiale** des images, c'est-à-dire la taille des objets qu'il est possible d'identifier, la **couverture** de chaque image, c'est-à-dire la superficie du territoire représenté et la fréquence des acquisitions.

Certaines études utilisent de la télédétection active. Dans ce cas, l'information captée par les dispositifs de télédétection n'est pas issue du rayonnement naturel (principalement la réflexion du rayonnement solaire) mais elle est générée artificiellement par le dispositif lui-même. Ces études obtiennent des résultats proches de ceux qui sont issus des données de télédétection active, mais avec l'avantage d'être moins contraints par les conditions d'acquisition puisque celles-ci peuvent se dérouler avec des nuages ou durant la nuit.

Ces méthodes sont majoritairement faciles à mettre en œuvre mais les données sont lourdes à acquérir et à traiter. De nombreux exemples de mise en application de telles méthodes sont recensés dans l'Esco (chapitre 2) mais aucune n'est encore utilisable en routine. Il serait donc intéressant de développer une méthode simple et applicable au niveau nationale pour faciliter l'acquisition et l'analyse des données et homogénéiser les études.

3.2. Caractériser la connectivité des retenues sur le BV

Une méthode proposée par Martin et Soranno (2006) permet de réaliser des statistiques sur la structure du réseau de lacs. Or la localisation des lacs sur le bassin versant est un important facteur de contrôle de certains paramètres de la qualité de l'eau (Kratz et al 1997)¹⁰. C'est le lien entre localisation des lacs et leur physico-chimie qui est testé dans cette étude.

A adapter

Point d'attention : La méthode est utilisée ici pour caractériser la connectivité des lacs et des zones humides. Elle pourrait être adaptée **pour les retenues**, mais en différenciant bien **chaque type** de retenue (la connectivité de chaque type de retenue étant différente).

3.2.1. Principe de cette approche

Martin et Soranno décrivent la position de lacs dans le paysage par différents indices (variables semi-quantitatives) :

- **l'indice d'hydrologie LH** rend compte de l'alimentation hydrologique du lac, de son fonctionnement hydrologique (lac fermé/ouvert) et de sa place le long d'un gradient hydrologique amont-aval.
- **l'indice LO** hiérarchise l'ordre du cours d'eau sur lequel est localisé le lac, et peut prendre différentes valeurs négatives selon que le lac est déconnecté du réseau ou connecté à une zone humide.
- **l'indice LNN** mesure la position du lac par rapport aux autres lacs auxquels il est connecté.
- **l'indice LNC** est censé exprimer la complexité des connexions aux autres lacs en distinguant les lacs situés sur la même chaîne de ceux alimentés par des branches différentes.

La Figure 32 décrit ces différents indices.

¹⁰ Kratz, T. K., K. E. Webster, C. J. Bowser, J. J. Magnuson et B. J. Benson (1997). "The influence of landscape position on lakes in northern Wisconsin." *Freshwater Biology* 37(1): 209-217.

Figure 31 : Présentation de quelques méthodes de télédétection

	méthode	Variables produites	Résolution spatiale (m)	Points forts	Points faibles	Récupération de données
Télédétection passive	Photographies aériennes	photographie		Facile à mettre en œuvre	Nécessite un très important travail pour isoler et localiser les plans d'eau, pas forcément géoréférencé	
	Worldview	cartographie couleur naturelle (bleu, vert, rouge et infrarouge) ou 4 bandes jaune, rouge, infrarouge,	0,3 m en panchromatique – 1,24 m en multi-spectrale ;	Une très bonne résolution de l'image	payant	
	Quickbird (américain)	cartographie couleurs naturelles (bleu, vert, rouge et proche infrarouge)	0,7 -2,4	Très bonne résolution d'image, l'imagerie peut être importée dans des packages SIG pour analyse	Arrêt des acquisitions fin 2014, payant	
	SPOT (français)	cartographie, végétation... bleu, vert, rouge et proche infrarouge		Des images depuis plus de 20 ans, base des cartes de l'IGN, carte disponible via l'IGN depuis 2015		Dispo : http://www.theia-land.fr/fr/produits/landsat-8
	Landsat TM et ETM+ (NASA)	cartographie, végétation, biomasse, thermie, lithologie visible, rouge, proche infrarouge	15 – 30 – 100 m pour infrarouge thermique	Résolution spectrale relativement riche, permet notamment de déterminer les limites terre/eau, l'intégralité des images d'archive Landsat est accessible gratuitement (voir site Earth Explorer de l' <i>U.S Geological Survey</i>)	Résolution moyenne	Dispo : http://www.theia-land.fr/fr/produits/landsat-8
	MODIS (NASA)	végétation, thermie, chlorophylle, climatologie, couverture neige/glace	250 m-500 m-1 km	Permet de cartographier les blooms de cyanobactéries	Résolution moyenne	https://modis.gsfc.nasa.gov/data/ https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis
Télédétection active	LiDAR (laser)	Topographie, bathymétrie (avec un lidar bathymétrique), végétation, précipitation, sol Données hyper spectrales	Dépend du capteur et des conditions	Indépendant des conditions climatiques, peut fournir des profondeurs	Payant, nécessite des compétences techniques élevées pour analyser les images	
	RADAR (onde radio) comme ENVISAT ASAR (européen)	topographie, végétation données hyper spectrales	30 m à 1 km	Satellite européen, indépendant des conditions climatiques	Données dispo de 2002 à 2012, nécessite des compétences techniques élevées pour analyser les images	https://earth.esa.int/web/guest/data-access/browse-data-products
	RADAR comme radarsat 2 (canadien)	topographie, rugosité des surfaces, humidité du sol... données hyper spectrales	3 m	Indépendant des conditions climatiques, peut permettre la détection de plan d'eau selon la rugosité des surface	Données payantes, nécessite des compétences techniques élevées pour analyser les images	http://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/radarsat2/commander-contact.asp

Pour 71 lacs du Nord Michigan les auteurs renseignent ces quatre indices qu'ils mettent en relation avec les différents paramètres de qualité de l'eau ainsi qu'à des caractéristiques d'occupation des sols et de la géologie. Tous les indices, et en particulier LO et LH, semblent **reliés à certains paramètres de qualité de l'eau**. Mais ces indices sont aussi reliés à d'autres déterminants paysagers, tels que la proportion de zones humides ou la morphologie des lacs. Il est donc difficile de distinguer quels déterminants jouent réellement un rôle sur la qualité de l'eau.

Cette évaluation de la connectivité des lacs pourrait être adaptée aux retenues. En comparant les connectivités dans les différents bassins versants, il serait possible d'identifier ceux qui peuvent servir de zone ressource (où les retenues présentent une faible connexion aux milieux aquatiques) ou qui peuvent être fortement impactés par les retenues (ceux présentant une importante densité de retenues fortement connectées aux milieux aquatiques). Il serait intéressant de voir si, comme dans l'article, il est possible ou non de faire un lien entre la connectivité des retenues et la physico-chimie sur le bassin versant. La recherche de lien avec la connectivité pourrait même concerner l'hydrologie ou la biologie sur le cours d'eau. Par exemple pour évaluer si, lorsque la connectivité est importante, les modifications du régime hydrologique sont aussi plus importantes ou si l'impact sur les espèces faunistique et floristique est plus important.

Points d'attention : La caractérisation de la connectivité entre les retenues et les milieux aquatiques va être différente selon ce qui est étudié :

- en hydrologie, la connectivité permettra principalement de caractériser la continuité hydrologique ;
- en biologie, on s'intéresse à la continuité mais en regardant les capacités/possibilités des espèces, soit à descendre le cours d'eau, soit à le remonter, ce qui peut être très différents : une espèce peut dévaler la rivière mais ne pas réussir à la remonter. La continuité peut également être évaluée, mais en regardant en plus la proximité des retenues pour évaluer si certaines espèces peuvent passer d'une retenue à l'autre et ainsi se répandre sur le bassin versant ;
- en physico-chimie, on s'intéresse à la succession et la proximité des retenues sur le bassin versant pour estimer si les impacts peuvent se cumuler ;
- pour le transport sédimentaire, les bassins versants des retenues excédentaires ou déficitaires n'auront pas les mêmes connectivités.

Il faudrait donc proposer des méthodes de chiffrage adaptées aux retenues et comprenant plusieurs indices prenant en compte les différentes composantes du bassin versant à étudier (hydrologie, biologie, hydromorphologie, physico-chimie...).

Échelle : Pour les bassins versants ou les sous bassins.

3.2.2. Données nécessaires

- Cartographie du réseau hydrographique
- Localisation des retenues avec des informations sur leurs modes d'alimentation et de restitution
- Données sur la physico-chimie, l'hydrologie... ou tout autre caractéristique fonctionnelle pour laquelle un lien veut être établi avec la connectivité des retenues.

3.2.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche permettrait d'estimer l'impact probable des retenues sur les différentes composantes des milieux à partir d'une simple donnée géographique qu'est la localisation des retenues.

Points faibles : Cette approche doit être testée et validée. Il est nécessaire d'acquérir des ordres de grandeur de ces indices sur certains bassins versants pour à terme pouvoir faire le lien entre le contexte du BV, la valeur des indicateurs, et les effets constatés des retenues sur les différentes composantes du bassin versant.

3.2.4. BV Référence de la méthode

Martin, S. L. et P. A. Soranno (2006). "Lake landscape position: Relationships to hydrologic connectivity and landscape features." *Limnology and Oceanography* 51(2): 801-814.

Figure 32 : Description de métriques de position des lacs (d'après Martin et Soranno, 2006, issue du rapport de

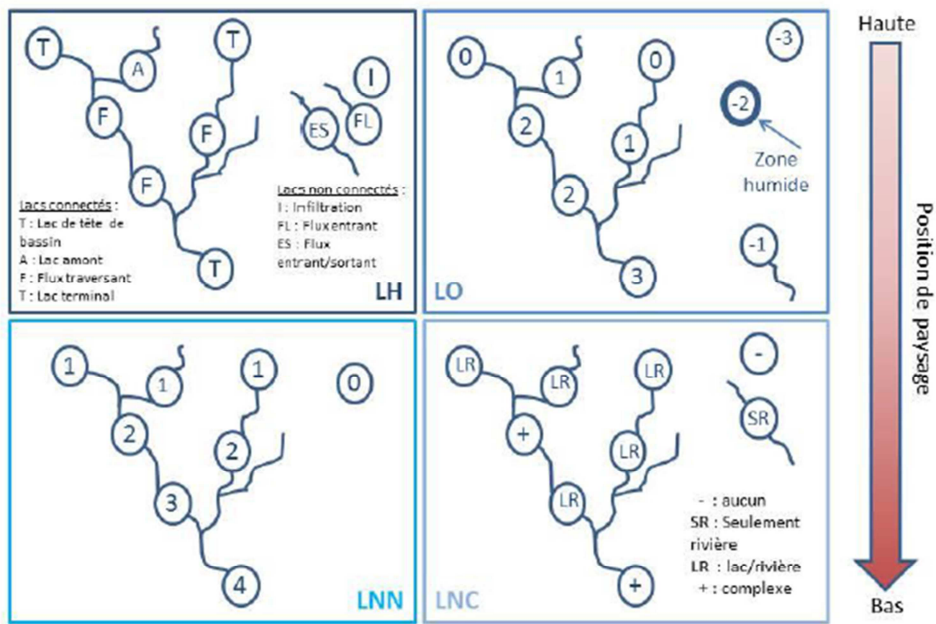


Figure 31 : Description de métriques de position des lacs : hydrologie du lac (LH), ordre du lac (LO), numéro dans le réseau de lacs (LNN), complexité du réseau de lacs (LNC). Les catégories non intégrées dans l'étude sont indiquées avec un astérisque. D'après (Martin et Soranno, 2006).

Fiche méthodologique :

Hydrologie et modélisation

2

Cette fiche propose quelques outils permettant de recenser les retenues présentes sur un bassin versant ou Cette fiche propose quelques outils permettant de mieux appréhender le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant et les modifications induites par la présence de retenues. Ces outils s'appuient principalement sur de la modélisation hydrologique.

La fiche est organisée de la manière suivante :

1. La modélisation hydrologique
 - 1.1 Principe d'une modélisation hydrologique
 - 1.2 Méthode d'évaluation de l'influence des retenues sur le débit à l'exutoire
 - 1.3 Exemple de modèles hydrologiques disponibles
2. Zoom sur quelques processus hydrologiques
 - 2.1 Évaluation du temps de résidence de l'eau
 - 2.2 Évaluation des pertes en eau du bassin versant liées aux usages et à l'évaporation de l'eau stockée dans la retenue
3. Limites et perspectives

1. La modélisation hydrologique

1.1. Principe d'une modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique d'un bassin versant consiste à transformer des informations météorologiques en informations sur les flux hydrologiques (évaporation, ruissellement et infiltration) en particulier sur le débit à l'exutoire, en considérant les différentes caractéristiques du bassin versant (surface, topographie, occupation du sol, aménagements...). Le niveau de complexité de la modélisation à réaliser (degré de conceptualisation et spatialisation) doit **être adapté** au contexte et aux **données disponibles**, ainsi qu'aux **résultats attendus** de cette modélisation et de leur utilisation (couplage avec d'autre compartiment tel que la biologie...). Dans cette fiche, différents types de modélisation présentant des niveaux de mises en œuvre et de complexité variés sont proposés afin d'aider le lecteur à choisir l'outil le plus adapté à son contexte de travail.

Il est classique de distinguer les types de modèles hydrologiques selon la manière dont l'espace est discrétisé :

- **un modèle hydrologique global.** Le bassin versant est représenté comme une seule entité spatiale homogène. C'est une modélisation facile à mettre en œuvre car elle ne demande pas de décrire précisément l'hétérogénéité spatiale du bassin. ;
- **un modèle semi-distribué.** Le bassin versant est divisé en plusieurs entités spatiales. Ce découpage de l'espace peut être réalisé grâce à des critères hydrologiques (découpage en sous bassin versant), des critères topographiques (découpage par bandes d'altitude), des critères d'occupation du sol. Ce modèle permet de prendre en compte une certaine variabilité spatiale des processus étudiés ;

- **un modèle distribué.** Le bassin versant est divisé en plusieurs entités sous la forme d'un maillage régulier, généralement rectangulaire. Ce modèle permet de prendre en compte les variabilités spatiales bien que la superficie des mailles dépende en général de la taille du bassin ou des données météorologiques disponibles ; elles peuvent atteindre plus de 50 km².¹¹

Les retenues peuvent être représentées de plusieurs façons au sein des mailles (bassin versant, sous bassins versant ou pixel) de ces modèles :

- par une **retenue équivalente**. La retenue équivalente est dotée des caractéristiques moyennes du réseau de retenues (capacité, surface...);
- par plusieurs retenues équivalentes suivant les **classes statistiques des capacités**. Le réseau de retenues est représenté par des réservoirs équivalents, chaque réservoir équivalent moyennant les caractéristiques des retenues d'une classe de capacité (Esco chapitre 5 p 45) ;
- de manière **spatialement explicite**. Chaque retenue est représentée individuellement, avec sa localisation sur le bassin versant, ses caractéristiques propres et les liens à son bassin d'alimentation.

La plupart des modèles hydrologiques nécessite d'adapter leurs paramètres au contexte d'étude par calage. Le **calage** se fait en général par comparaison des débits simulés aux débits observés. Il est nécessaire y compris dans les modèles dits à base physique même si l'ensemble des paramètres pourraient être prescrits a priori ; en effet, il est souvent impossible d'intégrer la variabilité spatiale de ces paramètres. En revanche, dans les modèles conceptuels conçus pour être parcimonieux, les paramètres n'ont pas forcément de sens physique et le calage est indispensable pour pouvoir s'adapter au contexte de l'étude.

La **validation d'un modèle** dans sa capacité à simuler le fonctionnement du bassin versant étudié se fait en comparant des variables simulées et observées. Généralement, le débit à l'exutoire est choisi. Il s'agit donc d'analyser l'écart entre les débits simulés et observés. Quand la paramétrisation a été réalisée à partir d'un calage fait sur les débits, la validation doit être réalisée sur une chronique des débits n'ayant pas été utilisée lors de la phase de calage

Actuellement, l'efficacité de prédiction de tels modèles pour simuler les bassins avec retenues est a priori discutable, à cause de la grande variabilité du fonctionnement des retenues et des limites des connaissances. Il n'est actuellement pas possible de dire si un modèle est meilleur qu'un autre et le choix se fait par rapport aux contraintes des données disponibles.

1.2. Méthode d'évaluation de l'influence des retenues sur le débit à l'exutoire

1.2.1. Une démarche par comparaison de scénarios

Dans le cadre de l'impact cumulé des retenues, les modèles hydrologiques peuvent être utilisés avec deux objectifs différents :

- Pour évaluer les impacts cumulés des retenues présentes sur le bassin versant :

Modéliser des débits « naturalisés », sans influence des retenues :

- Étape 1. Modéliser le fonctionnement du bassin versant en l'absence de retenue (en calant les paramètres du modèle sur un bassin versant de référence, c'est-à-dire ayant un contexte climatique

¹¹ Deitch, M. J., A. M. Merenlender et S. Feirer (2013). "Cumulative Effects of Small Reservoirs on Streamflow in Northern Coastal California Catchments." *Water Resources Management* 27(15): 5101-5118. ; Nathan, R., P. Jordan et R. Morden (2005). "Assessing the impact of farm dams on streamflows, Part I: Development of Simulation Tools." *Australian Journal of Water*.9(1): 1-12.

et hydrologique similaire et n'étant pas (ou très peu) impacté par des retenues, ce qui peut être compliqué à trouver),

- Étape 2. Comparer les débits observés sur le bassin versant étudié, qui sont impactés par la présence des retenues, avec les débits simulés en l'absence de retenue.

Une autre possibilité si aucun bassin versant de référence n'est disponible, est de modéliser les débits observés, puis d'en déduire les débits naturalisés sans influence des retenues :

- Étape 1. Modéliser le fonctionnement « actuel » du bassin versant, qui tient compte des retenues présentes, et valider le modèle avec des chroniques de débits observés.
 - Étape 2. Modéliser le bassin versant sans considérer de retenue (simulation de débits « naturalisés ») en « retirant » l'influence des retenues, à partir des valeurs des paramètres du BV établis lors de l'étape 1, et comparer les débits ainsi simulés aux débits observés en présence de retenues.
- Pour estimer les impacts cumulés de projets de nouvelles retenues sur le bassin versant :
 - Étape 1. Modéliser le réseau hydrographique en incluant les retenues présentes sur le bassin versant (en calant le modèle à partir des observations sur le bassin versant),
 - Étape 2. Ajouter les projets de nouvelles retenues dans la modélisation et comparer les résultats des deux modélisations avec et sans les nouvelles retenues.

Ces modélisations peuvent aussi être utilisées pour tester différents scénarios de gestion et d'aménagement de retenues, ou pour tester des scénarios de gestion de la ressource en eau pour répondre au changement climatique.

1.2.2. Le choix des indicateurs hydrologiques

Pour évaluer l'influence des retenues sur l'hydrologie du bassin versant, les valeurs « naturelles », « perturbées », c'est-à-dire influencées par les retenues existantes, et futures dans le cas de projet de retenues des **débits caractéristiques à l'exutoire du bassin versant** sont comparées. Ces comparaisons peuvent être effectuées sur les débits annuels mais aussi sur différentes périodes du cycle hydrologique, tels que les débits minimums mensuels de période de retour 5 ans **QMNA5 (pour évaluer les impacts cumulés sur les étiages)** ou les débits de crues décennales ou cinquanteennes (**pour évaluer les impacts cumulés sur les crues**). Les caractéristiques de débits à tester doivent être choisies en fonction des impacts et de la période impactée par les prélèvements ou les restitutions des différents types de retenues présentes sur le bassin versant étudié.

Le pas de temps de la modélisation doit être adapté à l'importance et à l'échelle temporelle des prélèvements.

1.2.3. Préconisation sur la collecte de données pour la modélisation hydrologique

Selon le type de modèle hydrologique choisi, un nombre plus ou moins conséquent de données d'entrée est nécessaire. Parmi celles-ci, on peut avoir :

- les caractéristiques du bassin versant (superficie, topographie, occupation du sol, description de la pédologie...);
- une chronique des débits du bassin versant d'au minimum une année (avoir plusieurs années augmente la fiabilité des résultats),
- les caractéristiques et localisation des retenues,
- connaissance des prélèvements et des restitutions d'eau dans le cours d'eau liés aux retenues

Dans le cas de l'étude de projets, il est conseillé de se baser sur une étude faite à l'échelle du bassin versant permettant de prendre en compte l'ensemble des retenues existantes et d'utiliser les données déjà collectées.

1.2.4. Avantages et inconvénients

Points forts : permet d'évaluer l'influence globale (l'impact cumulé) des retenues sur l'hydrologie de l'ensemble du bassin versant sur une année hydrologique.

Points faibles : Cette méthode nécessite d'avoir une bonne connaissance des débits à l'exutoire du bassin versant, des prélèvements et des restitutions liées aux retenues sur le bassin versant et d'avoir un (sous-) bassin versant non (ou très peu) influencé par des retenues pour caler le modèle permettant de calculer les valeurs naturelles des débits.

Lorsqu'il y a des prélèvements en nappe, il faut coupler la modélisation hydrologique à une modélisation hydrogéologique mais cela nécessite un travail supplémentaire avec la sélection de modèles hydrogéologiques qui n'est pas décrit ici. Dans ce cadre, le rapport « [Modélisation des écoulements souterrains](#) », BRGM, 2016, apporte des recommandations techniques sur les bonnes pratiques de modélisation.

1.3. Exemples de modèles hydrologiques

Nous proposons un ensemble de modèles, du plus simple au plus complexe à mettre en œuvre dans la Figure 33 (D'après le recensement effectué dans l'ESCO au chapitre 3). Le modèle à mettre en place doit être choisi en fonction des résultats attendus mais aussi des **données disponibles** pour sa mise en place et son calage. En effet, du fait de la grande variabilité du fonctionnement des retenues et des limites des connaissances sur le rôle des nombreux déterminants les performances d'un type de modèle par rapport à un autre ne sont pas connues pour évaluer l'impact cumulé des retenues, le choix se fait donc principalement par rapport aux contraintes de disponibilité des données et de complexité de mise en œuvre.

Dans la dernière ligne du tableau, le modèle STEDI est proposé, il n'appartient à aucune des familles de modèles hydrologiques décrites dans le paragraphe précédent mais est basé sur une analyse statistique des données observées. Ce type de modèle permet de spatialiser les données au sein du bassin versant et de tester différents scénarios. Ainsi, lorsque peu de données météorologiques sont disponibles sur le bassin versant, ce modèle peut s'avérer utile.

Figure 33 : Proposition de modèles hydrologiques du plus simple au plus complexe avec les débits observés ou à partir de paramètres calés sur d'autre bassin versants similaires

Estimation des flux d'eau dans le BV	Représentation des retenues	Données d'entrée nécessaires	Résolution temporelle (Δt)	calage	Exemple de modèles utilisables
Modèle hydrologique global	équivalente	Précipitation et températures	Jour	4 paramètres à caler*	Modèle GR de l'Irstea https://webgr.irstea.fr/activites/airgr/ (niveau expert) POTYLDR PITMAN
Modèle hydrologique semi-distribué	Equivalente	Variables atmosphériques (températures, précipitations, rayonnement...), occupation du sol, végétation, pédologie	Jour	conseillé (paramètres fixés à priori)	SWAT http://swat.tamu.edu/ ACRU
	Par classe statistique				WASA
Modèle hydrologique distribué	Equivalente	Variables atmosphériques (températures, précipitations, rayonnement...), occupation du sol, végétation, pédologie	Horaire, maille de 64km ²	conseillé	ISBA-rapid
Débits observés	Spatialement explicite	Localisation des retenues, taille (volume, surface), prélèvements, précipitation, évapotranspiration	Jour, semaine, mois	aucun	TEDI STEDI : http://www.depi.vic.gov.au/water/water-resource-reporting/surface-water-modelling/spatial-tool-for-estimating-dam-impacts-stedi

2. Zoom sur quelques processus hydrologiques au sein des/liés aux retenues

2.1. Évaluation du temps de résidence de l'eau

Le **temps de résidence de l'eau dans les retenues** est un facteur important à prendre en compte notamment pour évaluer par la suite les impacts des retenues sur la physico-chimie de l'eau. Il dépend à la fois du volume de la retenue, de sa morphologie et du flux d'eau entrant et sortant.

A ajuster

Le temps de résidence impactant les caractéristiques de l'eau sortant de la retenue est à calculer principalement pour les retenues qui restituent de l'eau dans les milieux aquatiques (les autres ont un impact négligeable), soient les retenues de type 2, 4 et 5.

2.1.1. Principe de la méthode

Le temps de résidence est très difficile à estimer car on ne connaît généralement pas la dynamique du mélange entre les flux entrants et le volume d'eau présent dans la retenue, conduisant au flux exporté à l'aval. D'ailleurs le mélange est en général très partiel.

Ce temps de résidence est approché par un indicateur, égal au rapport entre le volume de la retenue et le flux entrant, comme si ce volume était renouvelé progressivement au gré des apports.

$$\text{Temps de résidence (s)} = \text{Volume de la retenue (m}^3\text{)} / \text{Débit entrant (m}^3\text{/s)}$$

Le flux entrant est d'ailleurs très variable dans le temps, conduisant à un temps de résidence également variable. Il pourra donc être proposé, pour une même retenue, des temps de résidence minimum et maximum, en indiquant les périodes auxquelles ils correspondent. Il peut être intéressant d'évaluer la distribution spatiale des temps de résidence des retenues au sein d'un bassin versant.

ATTENTION : Il ressort de l'Esco que le temps de résidence dans une même retenue est hétérogène, en fonction de la circulation de l'eau au sein de la retenue. Or, la vitesse des écoulements joue un rôle très important sur les processus bio-géochimiques pouvant avoir lieu dans une retenue. Par exemple, dans le cas de seuil en cours d'eau, l'eau de surface sortira très rapidement de la retenue alors que l'eau en fond de retenue stagnera beaucoup plus longtemps. Cela limitera l'impact des processus physico-chimiques se produisant dans les sédiments en fond de retenue sur la qualité de l'eau en sortie de l'ouvrage. Le temps de résidence ne sera alors pas un bon indicateur concernant l'impact de la retenue sur la qualité de l'eau, or c'est son principal objectif. Le calcul du temps de résidence global de l'eau dans la retenue n'est donc pas forcément en accord avec la réalité de la retenue, ce qui peut biaiser l'estimation de l'impact de cette retenue via le temps de résidence.

Échelle : Pour une retenue, des bassins ou des sous bassins versants

2.1.2. Données nécessaires

Pour toutes les retenues du bassin versant, il faut connaître : le volume de chaque retenue, le volume et la période d'alimentation et de restitution (ou le débit, la durée et la période). Cela suppose donc de connaître la distribution des débits entre les retenues et les milieux aquatiques.

2.1.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Estimer le temps de résidence de l'eau peut donner une idée de l'importance des processus qui peuvent se dérouler dans la retenue. Donne une idée de l'importance des stockages d'eau dans les retenues et de l'utilisation de l'eau stockée.

Points faibles : Certaines données (distribution des débits entre les retenues et les milieux aquatiques) sont difficiles à connaître. Comme évoqué plus haut, le temps de résidence étant assez hétérogène au sein d'une retenue, sa valeur pour une retenue est une approximation qui n'est pas forcément représentative des processus qui se déroulent dans la retenue.

2.2. **Évaluation des pertes en eau du bassin versant liées aux usages et à l'évaporation de l'eau stockée dans la retenue**

2.2.1. Principe de la méthode

L'eau des retenues représente une **perte** importante pour les milieux aquatiques lorsqu'elle n'est pas restituée dans le cours d'eau. Cette perte est liée à la fois aux **usages de l'eau** mais aussi à l'**évaporation** de l'eau dans la retenue. Cette perte sera plus ou moins importante selon le contexte (notamment le climat), le nombre, la surface et la gestion des retenues présentes sur le bassin... Les usages et l'évaporation peuvent représenter annuellement un volume d'eau perdu assez important.

C'est à la période où ces volumes sont prélevés, donc durant la saison de remplissage des retenues, que l'impact se fera sentir sur le cours d'eau, ce qui peut faire diminuer le débit du cours d'eau. Les pertes calculées ci-dessous ont lieu durant le stockage de l'eau dans les retenues à l'aval de la retenue, ce qui n'impacte pas directement les débits du cours d'eau mais peut se ressentir sur le bilan annuel du bassin versant.

Échelle : pour des bassins ou des sous bassins versants

Evaluer les pertes liées à l'évaporation sur les retenues

Une partie de l'eau stockée dans les retenues sera perdue par évaporation. Il est possible d'estimer la quantité d'eau évaporée sur le bassin versant due à la présence des retenues en calculant la différence entre le volume d'eau évaporé par une surface d'eau libre (par les retenues) et le volume d'eau évapotranspirée (ET) pour une même surface mais recouverte par une végétation de type prairie¹² :

Applicable

- **Calculer le volume d'eau évaporé par l'ensemble des retenues** : à défaut d'avoir une formule d'évaporation d'une retenue faisant consensus, l'évapotranspiration potentielle (ETP Penman), définie comme étant l'évapotranspiration qui serait observée pour un gazon sous des conditions de disponibilité en eau et sous des conditions agronomiques optimales¹³ est généralement utilisée et dépend donc des conditions climatiques. Elle peut être obtenue auprès de météo France. En connaissant la surface totale d'eau libre de l'ensemble des retenues, il est possible d'en déduire le volume d'eau évaporé par les retenues sur l'ensemble du bassin versant.
- **Calculer le volume d'eau évapotranspiré par une surface végétale** : l'évapotranspiration réelle (ETR) est calculée à partir d'un bilan de la réserve facilement utilisable du sol (moyenne de 120 mm). Les données pluviométriques du modèle hydrique utilisé pour le calcul du bilan de la réserve du sol correspondent à une pluie moyenne mensuelle ou décadaire de bassin construite à partir des chroniques Météo France collectées. La demande évaporatoire des plantes peuvent être estimés en utilisant les coefficients de la FAO¹⁴.
- **La différence entre l'ETP et l'ETR donne l'évaporation supplémentaire sur le bassin versant due à la présence des surfaces d'eau à l'air libre des retenues.**

Réaliser quelques mesures *in situ* de cette évaporation permettrait de valider les calculs proposés ici.

Points d'attention

- L'évaporation varie fortement au cours de l'année, en fonction de la saison et du climat. Il faut donc la calculer au moins mensuellement sur une année. De plus, la forme de la retenue va jouer sur

¹² Étude sur la gestion quantitative de la ressource en eau sur le territoire du SAGE « Layon Aubance », rapport de phase 1, Syndicat Mixte du bassin de Layon, 2013, (voir p.59)

¹³ Hingray, B., Picouet, C., and Musy, A. (2009). Hydrologie 2- Une science pour l'ingénieur, volume 2. PPUR presses polytechniques.

¹⁴ Voir le site : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/formule-de-penman-monteith>

l'évaporation : moins la retenue est profonde, plus les pertes (proportionnellement au volume stocké) seront grandes. Comme rapporté dans l'Esco, les petites retenues évaporent plus que les grandes retenues (car elles ont tendances à plus se réchauffer, ce qui favorise l'évaporation). L'évaporation calculée ici sur une surface totale équivalente ne prend pas en compte ce phénomène.

- L'évapotranspiration de la végétation utilisée ici est une approximation. Elle dépend du climat, du type de végétation. Elle reste sans doute incertaine.
- Ces pertes d'eau dans la retenue ne peuvent pas être directement reliées au débit à l'exutoire du bassin versant car ces pertes n'ont pas lieu lors du prélèvement d'eau dans le cours d'eau mais durant son stockage.
- Les retenues non utilisées présentent des pertes par évaporation qui pourrait être évitées.

Évaluer les pertes liées aux usages de l'eau stockée dans les retenues

Une partie de l'eau stockée dans les retenues va être utilisée, notamment pour l'irrigation, et ne retournera pas dans les milieux aquatiques. Pour connaître ces volumes d'eau perdus pour les milieux aquatiques, il faut avoir accès à des données sur la gestion des retenues.

Applicable

Évaluer les pertes globales d'eau sur le bassin versant

Les pertes globales liées aux retenues sur le bassin versant correspondent donc au cumul des pertes par évaporation et des pertes liées aux usages. Si les données sont disponibles, il est intéressant de comparer les volumes perdus évalués aux volumes d'eau annuels transitant dans la rivière, ce qui fournit une estimation de l'importance des pertes par rapport aux quantités d'eau transitant sur le bassin versant.

Les volumes d'eau « perdus pour les milieux aquatiques », par évaporation ou pour usage, et les périodes où ont lieu les prélèvements peuvent être introduits dans des modélisations hydrologiques afin d'évaluer **les pertes de débit à l'exutoire** qui en découlent (en période de remplissage et en période estivale).

2.2.2. Données nécessaires

- Localisation et surface des retenues
- Calculs de l'évaporation potentielle ou des données de climatologie pour calculer l'ETP
- Avoir les données de gestion des retenues pour évaluer les volumes d'eau pompés dans les milieux aquatiques. Attention, il est parfois très difficile d'avoir accès à des données précises sur ces volumes.

2.2.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Cette méthode peut être mise en œuvre sur l'ensemble du bassin versant. Elle permet d'évaluer les pertes d'eau (prélèvements + évaporation) liée à la présence de retenues sur le bassin versant. Elle est plus facile à mettre en œuvre que des modélisations.

Points faibles : Cette méthode utilise de nombreuses approximations. Les résultats présentent de fortes incertitudes, ce sont principalement les ordres de grandeurs qui pourront être utiles dans les études de l'impact cumulé. Il faut avoir accès à l'information concernant les usages de l'eau et les volumes prélevés dans les retenues, ce qui n'est pas toujours disponible.

3. Limites et perspectives

Si la retenue n'est pas étanchéifiée, des infiltrations d'eau vers la nappe peuvent avoir lieu. Ces volumes d'eau infiltrés ne sont pas forcément des pertes pour les milieux aquatiques si la nappe rechargée par ces infiltrations est en contact avec des zones humides ou avec la rivière en aval des retenues.

Les volumes d'eau infiltrés ne sont pas évidents à calculer puisqu'ils dépendent de nombreux facteurs régionaux (le climat, la géologie...) mais aussi spécifiques à chaque retenue (étanchéité, volume et hauteur d'eau stockée...). De nombreuses méthodes sont recensées dans l'Esco (chapitre III, p 6 à 13).

De plus, établir si ces volumes d'eau sont « perdus » pour les milieux aquatiques ou s'ils peuvent participer à la recharge de la nappe et retourner dans le cours d'eau en aval des retenues nécessite d'avoir une bonne connaissance de l'hydrogéologie de la région et des écoulements de la nappe d'eau souterraine.

Il n'y a donc pas de méthode simple à disposition pour réaliser ces évaluations. Il est nécessaire de tester les différentes méthodes et de réaliser des calculs sur des bassins versants tests pour évaluer la pertinence des méthodes et choisir la plus adaptée.

Un exemple de modélisation hydrologique : Étude de détermination des volumes prélevables Bassin versant du Doux, Rapport de phase 3 : Impact des prélèvements et quantification des ressources existantes, RSO-0165, Version 3, ISL, janvier 2011, http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/gestion-quantitative/EEVPG/Doux/EVP_Doux_rapport_phase3_janv2011.pdf

Fiche méthodologique :

Hydromorphologie

3

Cette fiche méthodologique propose un ensemble d'outils permettant d'évaluer les modifications de l'hydromorphologie induites par la présence de retenues sur un bassin versant et les impacts possibles de la création de nouvelles retenues.

Les différents outils proposés dans la fiche concernent :

1. Évaluer l'impact cumulé des retenues sur le transport sédimentaire
 - 1.1. Importance du positionnement des retenues par rapport aux zones de production : Indice d'aléa d'érosion des sols
 - 1.2. Évaluer la production/piégeage de sédiments : Modèle WATEM/SEDEM ou STREAM/LANDSOIL
2. Outils nécessitant un développement supplémentaire et perspectives de recherche

1. Évaluer l'impact cumulé des retenues sur le transport sédimentaire

Nous proposons ici deux approches pour tenter d'évaluer l'impact des retenues sur le transport de sédiment d'un bassin versant. La première approche consiste à estimer l'impact possible d'une retenue en fonction de sa localisation par rapport à l'aléa d'érosion des sols sur le bassin versant. La deuxième approche consiste à évaluer si la retenue va piéger ou produire des sédiments par rapport aux zonages modélisés de la production et du transfert du ruissellement et des sédiments dans les bassins versants. En fait, ce deuxième type de modélisation correspond à une approche relativement similaire à l'approche « aléa érosion » sur le plan conceptuel, mais beaucoup plus fine et « circonstanciée ».

1.1. Importance du positionnement des retenues par rapport aux zones de production : Indice d'aléa d'érosion des sols sur le bassin versant

La création de carte de l'aléa érosion à l'échelle départementale permet de déterminer le positionnement des retenues par rapport aux zones de production et le niveau de production sédimentaire dans la zone d'implantation de la retenue (à utiliser de manière complémentaire avec les indicateurs de connectivité des retenues).

A ajuster

1.1.1. Principe

L'idée est de s'appuyer sur des niveaux d'aléa d'érosion annuel des sols à travers le modèle MESALES. Ce modèle d'estimation spatiale de l'aléa érosion des sols, est un modèle qualitatif qui permet de modéliser l'aléa érosif (probabilité de survenue de l'érosion). Il est basé sur le croisement, pour chaque unité spatiale (pixel) et pour chaque saison, de 5 facteurs :

- l'occupation du sol « protection de la surface par la couverture végétale » ;
- la sensibilité à la battance ;
- l'érodibilité du sol ;
- la topographie « facteur topographique (pente X impluvium) » ;
- le climat « agressivité du climat (cumuls de pluie X intensités) ».

Il détermine, à partir des propriétés des sols, la sensibilité des sols à l'érosion. En croisant cette sensibilité avec les phénomènes pluvieux sur le bassin versant, il permet d'évaluer des niveaux d'aléa d'érosion annuel des sols (5 classes) et leur répartition sur la zone étudiée.

Les données aléa érosion de la France entière sont disponibles pour l'occupation du sol de 2000 sur le site : <https://www.gissol.fr/donnees/donnees-dalea-derosion-2844> (échelle minimale de la commune). Une mise à jour de ces données sera disponible courant 2017. Le modèle est simple est facile à mettre en œuvre sans compétences trop spécifiques.

Le lien avec les retenues

Une retenue placée en aval d'une zone présentant des indices d'aléa d'érosion fort à très fort pourra piéger une partie des ruissellements et des sédiments érodés et limiter ainsi les impacts à l'aval, mais se comblera rapidement de sédiment. A l'inverse, une retenue placée en zone d'aléa faible se comblera plus lentement mais risque d'entraîner un déficit de sédiments dans le cours d'eau à l'aval.

De plus, si l'occupation du sol évolue (changement de culture qui peut faire suite à l'implantation de la retenue et l'irrigation qu'elle permet), le rôle de piégeage ou de production des retenues pourra évoluer. Les résultats d'EFESE sur les évolutions passées et prévues de l'occupation du sol et du degré de couverture des sols pourront être pris en compte dans cette approche. Ceux-ci ne seront disponibles que courant 2017.

Échelle : carte en mode raster à la résolution de 100 m ou 250 m avec intégration possible par bassin versant ou par unités administratives (communes)

1.1.2. Données nécessaires pour MESALES

- Type de sol et occupation du sol
- Topographie
- Données de climatologie

1.1.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche est simple et facilement adaptable à plusieurs échelles d'études. Elle peut permettre de prendre en compte les évolutions de l'occupation des sols sur le bassin versant.

Points faibles : Le lien avec les retenues n'est pas direct et doit encore être précisé (les sédiments produits par l'érosion de versant peuvent, selon les situations, se déposer avant les retenues et ne pas contribuer à son remplissage ; à l'inverse, d'autre type d'érosion comme l'érosion de berges de cours d'eau, non prise en compte dans le modèle, peuvent contribuer à l'envasement des retenue).

1.1.4. Références

Le Bissonais, Y. ; Montier, C. ; Jamagne, M. ; Daroussin, J. ; King, D.- 2002 - *Mapping erosion risk for cultivated soil in France. Catena*, 46, 207-220.

Cerdan, O., Le Bissonais, Y., Souchère, V., King, C., Antoni, V., Surdyk, N., Dubas, I., Arrouays, D., and Desprats, J. F. (2006a). Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport numéro3 : Synthèse et recommandations générales. Rapport BRGM- RP-55104-FR. Technical report, BRGM, INRA, Orléans. (voir le site du BRGM : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-55104-FR.pdf>)

Etude EFESE (à paraître octobre 2017) : Évaluation biophysique du SE « stabilisation de la matière et contrôle des taux d'érosion ».

1.2. Évaluer la production/ le piégeage de sédiments dans les retenues : modèle WaTEM/SEDEM ou STREAM/LANDSOIL

En fonction du contexte et de la gestion d'une retenue, celle-ci pourra avoir un impact très différent sur le transport de sédiment au sein du bassin versant. Il est donc intéressant d'évaluer plus précisément le volume de sédiment qui pourra être stocké dans une retenue d'eau et évaluer si la retenue aura plutôt un rôle de production ou de piégeage de ces sédiments. Cela fournira une bonne indication du dérèglement du transport sédimentaire dans le cours d'eau lié à la présence de la retenue.

A ajuster

Pour évaluer le stockage de sédiment dans une retenue, il est possible de réaliser des mesures bathymétriques. Si l'on souhaite étudier l'évolution de ce stockage, ces suivis devront être réalisés à intervalles réguliers, sur plusieurs années.

Pour évaluer l'impact de la retenue sur le bassin versant, il est intéressant d'évaluer quelle quantité de sédiments provenant de l'amont la retenue va pouvoir stocker (piégeage). C'est ce que pourraient permettre les modèles WaTEM/SEDEM et STREAM/LANDSOIL (par contre, il n'existe pas, à notre connaissance de modèle permettant de simuler la production ou le relargage de sédiments depuis une retenue, ce processus dépendant surtout des caractéristiques techniques et du mode de gestion de la retenue).

1.2.1. Principe de cette approche

Les deux modèles, WaTEM/SEDEM et STREAM/LANDSOIL, ont pour objectif l'évaluation « spatialisée/distribuée » de la production et du transfert du ruissellement et des sédiments dans les bassins versants (mais pas spécifiquement dédiés à l'étude de l'impact des retenues). Les deux modèles sont adaptés à l'échelle des petits bassins versants (1-100km²) (il en existe de nombreux autres dans la biblio mais leur prise en main est souvent lourde).

Les modèles WaTEM (*Water and Tillage Erosion Model*)/SEDEM (*Sediment Delivery Model*) permettent de modéliser l'érosion des sols à l'échelle d'un bassin versant pouvant contenir un petit réservoir. Le modèle se concentre sur la variabilité spatiale pour estimer les répartitions spatiales des pertes de sol et du flux de sédiments pour chaque maille du modèle. Il permet d'estimer la production, les dépôts et l'export de sédiment sur un bassin versant. Il peut prendre en compte la présence de barrage en ajustant un coefficient de capacité de transport (stockage de sédiment dans la retenue) qui peut être obtenu par des suivis de la bathymétrie.

STREAM/LANDSOIL permet de réaliser une cartographie des écoulements avec des cartes du ruissellement et une estimation des volumes ruisselés, ainsi que de la redistribution des sols dans les paysages. Il étudie les

relations entre l'évolution des sols agricoles et celle du contexte climatique et de l'organisation des paysages, à des échelles de temps allant de la décennie au siècle. Il propose notamment un indicateur de l'érosion des sols.

Echelle : à l'échelle de la retenue

1.2.2. Données nécessaires

Modèle STREAM /LANDSOIL : MNT, carte de l'occupation du sol et du couvert végétal (type d'exploitation), réseau hydrographique, pluie. Disponibilité du modèle STREAM/LANDSOIL : libre distribution sur signature d'une convention auprès de l'INRA Orléans, UR Science du Sol (contact : alain.couturier@inra.fr).

Modèle WaTEM/SEDEM : MNT, carte des types de sols, carte d'utilisation du sol / carte de couverture (par exemple en fonction de la couverture végétale); carte du réseau hydrographique, carte du réseau routier, données climatiques (pluviométrie : quantité et intensité). Le logiciel de modélisation de l'érosion WaTEM / SEDEM est téléchargeable gratuitement :

[Http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/watemsedemhome/index.htm](http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/watemsedemhome/index.htm)

1.2.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche permet d'évaluer l'impact potentiel d'une retenue au sein d'un réseau sur le transport sédimentaire. WaTEM/SEDEM et STREAM /LANDSOIL sont directement utilisables sur de petits bassins versants.

Points faibles : Cette approche n'est adaptée qu'à l'étude à l'échelle d'une retenue et elle doit être adaptée aux petites retenues. Sa mise en application dépend des données disponibles (données pour faire tourner le modèle et données pour le caler/valider localement). C'est intéressant mais cela reste encore très difficile à mettre en œuvre pour de nombreuses retenues.

1.2.4. Références

Verstraeten G, Poesen J. 2000. Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: Methods and implications for the assessment of sediment yield. *Progress in Physical Geography* 24: 219–251.

Cerdan O.; V. Souchère; V. Lecomte ; A. Couturier ; Y. Le Bissonnais (2002). Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff and erosion model : STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management). *Catena*, 46, 189-205.

2. Outils nécessitant un développement supplémentaire et perspectives de recherche

- Pas le même comportement des retenues selon le contexte sédimentaire. Dans les régions excédentaires, les retenues sont comblées en quelques années. Une méthode permettant de déterminer le régime sédimentaire du bassin versant étudié serait donc intéressante à développer. De plus, il est important de prendre en compte la gestion des sédiments dans la retenue selon les usages (curage, vidange...) car l'impact sur le milieu diffère.
- Prendre en compte l'impact des retenues sur l'évolution morphologique du cours d'eau. Les retenues, en perturbant le transport de sédiment au sein du bassin versant, vont également pouvoir impacter la morphologie du lit du cours d'eau. Certains suivis mis en place peuvent fournir des informations utiles

A adapter

sur les évolutions morphologiques du cours d'eau (tel Carhyce qui fournit une indication de l'altération hydromorphologique de la station suivie). Sinon, il est nécessaire de faire de l'expertise in situ au cas par cas sur la base de mesures topographiques et granulométriques (les modèles ne marchent pas, cf Esco). Comparer des suivis de la morphologie du lit permet de déterminer s'il y a des zones de dépôt ou d'érosion sur un tronçon. Si plusieurs sites sont suivis sur le bassin versant, il est possible de déterminer s'il y a des processus d'exhaussement ou d'incision sur le bassin versant, en délimitant les tronçons concernés par ces processus (limite ou chiffrage du linéaire). Cependant, il est encore très difficile de déterminer si les évolutions de la morphologie observées ont un lien avec la présence de retenues, ce qui doit être investigué.

Fiche méthodologique :

Méthodes physico-chimiques

4

Cette fiche propose quelques outils permettant de mieux appréhender les évolutions de la qualité physico-chimique de l'eau sur le bassin versant et les modifications induites par la présence de retenues. Cette thématique concerne principalement les retenues qui restituent de l'eau dans le cours d'eau (les autres ont *a priori* un impact négligeable sur la physico-chimie des milieux aquatiques). Les impacts de ces retenues sur la physico-chimie dépendront fortement :

- de l'importance et de la période des restitutions par les retenues dans le cours d'eau : si la restitution est permanente ou temporaire et avec quelle saisonnalité, importance des volumes restitués... ;
- du mode de restitution : eau provenant de la surface ou du fond des retenues, importance du brassage et de la dilution de l'eau issue de la retenue lors de la restitution dans le cours d'eau... ;
- de la densité et de la proximité des retenues sur le bassin versant.

Plusieurs outils sont proposés dans cette fiche, certains se focalisent sur les processus au sein des retenues, pour préciser les connaissances sur les processus physico-chimiques se déroulant dans les différents types de retenues, d'autres permettent d'étudier les différents impacts cumulés des retenues sur la physico-chimie de l'eau sur un bassin versant. Comme cela est souligné dans l'Esco, il existe encore peu d'outils adaptés à l'étude des impacts cumulés des retenues, c'est pour cette raison que la plupart des outils proposés dans cette fiche doivent être adaptés ou doivent faire l'objet de développements supplémentaires (regroupés dans la partie 4.2 des perspectives). Les différents outils proposés dans la fiche concernent :

1. des données physico-chimiques par des mesures *in situ*
2. des données sur la physico-chimie dans les retenues par télédétection
3. l'estimation de l'impact des retenues sur la qualité du cours d'eau : la température et l'oxygénation à l'aval des retenues
4. des perspectives concernant les études des processus physico-chimiques
 - 4.1 Préciser la physico-chimie dans les retenues
 - 4.1.1 Évaluer les coefficients d'élimination de l'azote et de rétention du phosphore par les retenues
 - 4.1.2 Trouver un lien entre le temps de résidence de l'eau et l'impact des retenues sur la qualité de l'eau
 - 4.2. Modéliser le fonctionnement physico-chimique d'un bassin versant : cas de l'azote

1. Obtenir des données physico-chimiques par des mesures *in situ*

Applicable

1.1. Principe

Pour mieux appréhender l'impact des retenues sur les processus physico-chimiques, il est nécessaire **d'acquérir des connaissances**, ce qui passe par la réalisation de mesures directes des paramètres physico-chimiques sur le terrain. Il s'agit de quantifier les évolutions physico-chimiques de l'eau le long du réseau hydrographique et/ou plus spécifiquement au niveau de certaines retenues. Ces mesures peuvent être entreprises en continu ou pendant les événements particuliers (crue, étiage...). Elles peuvent par exemple permettre d'étudier si le flux sortant d'une retenue a un impact sur la qualité du cours d'eau en période de crue, et si cela peut affecter la biologie.

Le choix de la localisation des sites de mesure et des paramètres à suivre dépend de l'impact que l'on souhaite étudier. Ainsi, il est possible de faire des mesures :

- de la qualité de l'eau en amont et en aval de certaines retenues pour évaluer leurs impacts sur la physico-chimie. Ces observations pourront être transposées à l'ensemble des retenues similaires pour tenter d'évaluer leur(s) impact(s) potentiel(s) sur la physico-chimie du bassin versant ;
- de la qualité de l'eau dans le cours d'eau en amont et en plusieurs points à l'aval de la restitution d'une retenue pour observer comment et sur quelle distance la retenue impacte la qualité du cours d'eau ;
- des paramètres physico-chimiques en différents points stratégiques du bassin versant pour évaluer les évolutions de la physico-chimie du bassin. En connaissant l'ensemble des pressions qui s'exercent sur la physico-chimie du bassin versant, il peut être possible d'estimer le rôle relatif des retenues présentes sur les évolutions physico-chimiques observées ;
- etc...

Échelle : L'échelle de suivi dépend du nombre de stations que l'on est en capacité de mettre en place et de suivre. Il est possible de suivre seulement deux stations en amont et en aval d'une retenue ou un ensemble de stations de mesure sur le cours d'eau pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau sur un sous bassin versant ou sur l'intégralité d'un bassin versant.

1.2. Données nécessaires

Pour interpréter correctement des mesures physico-chimiques, il faut avoir des données sur les débits (dans la retenue ou dans le cours d'eau).

Les données physico-chimiques intéressantes à acquérir peuvent être : la température, l'oxygénation, les concentrations en azote ou en phosphore, les concentrations en polluants...

1.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Permet d'acquérir des informations concrètes sur la physico-chimie sur la zone étudiée.

Points faibles : Ces suivis *in situ* nécessitent d'avoir du temps pour réaliser et analyser les mesures in-situ. De plus, ces suivis doivent avoir des durées qui couvrent bien l'intégralité des processus étudiés, ce qui peut nécessiter plusieurs années.

2. Obtenir des données physico-chimiques dans les retenues par télédétection

2.1. Principe

De nombreuses méthodes de télédétection sont disponibles pour acquérir des données physico-chimiques. Elles permettent de mesurer plusieurs caractéristiques physico-chimiques dans les retenues (voir les références dans l'Esco, chapitre 2) :

- la turbidité et la charge en suspension ;
- les teneurs en azote, en phosphore, en carbone inorganique ou organique dissous ;
- la température de l'eau de surface ;
- la teneur en chlorophylle-a ;
- la dynamique des communautés de végétation aquatique, les blooms d'algues ou de cyanobactéries ;
- les émissions de méthane.



Des méthodes couramment utilisées sont par exemple des images MODIS (d'une résolution de 250 à 1000 m) pour cartographier les blooms de cyanobactéries ou des images MERIS (d'une résolution de 300 à 1200 m) pour cartographier la concentration en chlorophylle a dans des plans d'eau (voir la fiche n°1 et les différentes méthodes de télédétection).

2.2. Avantages et inconvénients

Points forts : Ces méthodes permettent d'acquérir des informations sur un grand nombre de retenues en une seule fois, avec un investissement de terrain limité.

Points faibles : Ces méthodes sont faciles à mettre en œuvre mais les données sont lourdes à acquérir et à traiter. Le plus souvent, c'est une relation empirique qui définit le rapport entre les données images collectées et la valeur *in situ* du paramètre étudié et cette relation est souvent peu transposable. Ces méthodes nécessitent des investigations à mener sur les périodes adéquates pour le paramètre étudié.

De nombreuses méthodes sont en cours de développement pour suivre les avancées technologiques rapides dans ce domaine. Certaines méthodes relèvent encore du domaine de la recherche. Le choix des données et des méthodes à mobiliser, ainsi que la mise en œuvre, peuvent se révéler complexes et demandent des compétences spécifiques.

2.3. Références

Pour avoir des références sur ces méthodes, se reporter à l'Esco chapitre 2.

3. Estimer l'impact des retenues sur la qualité du cours d'eau : la température et l'oxygénation à l'aval des retenues

Les retenues peuvent modifier de façon plus ou moins importante les variables physico-chimique de l'eau, ce qui peut modifier de façon importante ces variables dans le cours d'eau en aval des restitutions (notamment la température et l'oxygénation).



L'importance de la modification de la variable peut être estimée via son **intensité** : différence entre la valeur « naturelle » dans le cours d'eau (valeur qu'aurait la variable en l'absence de retenue) et la valeur « impactée »

à l'aval direct de la restitution de la retenue dans le cours d'eau. La valeur « naturelle » peut être évaluée par modélisation en l'absence de retenue ou être estimée en prenant la valeur à l'amont de la restitution.

La **distance de retour ou d'influence** (définition issue de la synthèse de l'Esco) 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 de ce qu'elle aurait été sans la retenue. Les distances de retour vont dépendre :

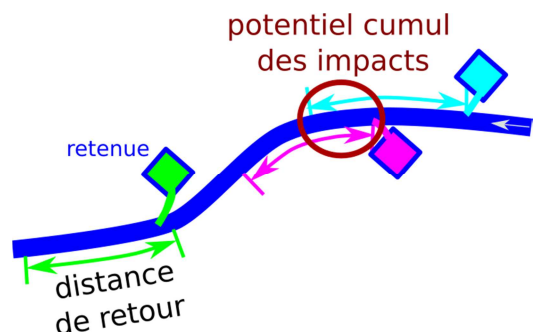
- de la variable considérée ;
- de l'importance de la modification du paramètre dans la retenue, ce qui dépend du type de retenue et de son mode de gestion, du mode de restitution de l'eau... ;
- de l'évolution de la variable vers l'aval, lié notamment soit à des processus physiques et chimiques dans le cours d'eau, soit à des dilutions liées aux conditions hydrologiques (alimentation diffuse du cours d'eau ou présence d'affluents).

Si la distance entre deux retenues est inférieure à la distance de retour pour un paramètre donné, les impacts des deux retenues peuvent se cumuler et le paramètre considéré peut alors présenter des évolutions plus importantes que ce qu'elles auraient été s'il n'y avait eu qu'une seule retenue (voir la figure ci-dessous)

3.1. Principe de la méthode

L'impact des retenues sur la température et l'oxygénation varie fortement en fonction de la saison. Pour effectuer les calculs de l'intensité et de la distance de retour de ces deux paramètres, il faut donc bien choisir la période. On peut commencer par étudier l'intensité des modifications en évaluant les périodes de l'année où des modifications à l'aval de la retenue sont observables (l'intensité n'est pas nulle), la durée où ces modifications sont significatives et la période où elles sont maximales. Il est intéressant de se focaliser sur la période où les modifications induites par les retenues sont les plus fortes, pour calculer la distance de retour qui est alors maximale.

- Calculer l'**intensité** de la perturbation pour la température, l'oxygène ou les contaminants, pour chaque retenue sur différentes périodes pour déterminer la période de l'année où elle est maximale (qui n'est pas forcément la même suivant le paramètre étudié), puis comparer les valeurs max ou moyennes sur le BV.
- Calculer la **distance de retour** (en m ou km) pour la température ou l'oxygène en période critique : déterminer le linéaire maximale de cours d'eau à l'aval de la restitution de la retenue nécessaire pour que la variable perturbée revienne à son niveau « naturel » d'avant perturbation (soit sa valeur à l'amont retenue, soit sa valeur modélisée).
- Evaluer le(s) linéaire(s) de cours d'eau (longueur et délimitation) présentant un potentiel cumul des impacts physico-chimiques des retenues. Si la distance entre deux retenues est inférieure à la distance de retour d'un paramètre de la retenue amont, il y aura cumul de l'impact et l'impact cumulé pourra être différent (par exemple être plus important) que l'impact d'une seule retenue. Il est donc intéressant de déterminer les linéaires de cours d'eau où, pour un même paramètre, la proximité de plusieurs restitutions de retenues dans le cours d'eau provoque un chevauchement de leurs distances de retour. Ces linéaires de cours d'eau potentiellement impactés par le cumul sont à localiser sur le réseau hydrographique et un bilan sur le bassin versant permettra de se faire une idée de l'importance des modifications liées à la présence des retenues et des impacts cumulés qu'elles causent.



La **distance de retour ou d'influence** est typiquement de quelques dizaines de mètres pour la teneur en oxygène dissous, mais peut atteindre plusieurs centaines de mètres pour la température (voir l'Esco).

Points d'attention : Cette notion de distance de retour n'est applicable qu'aux paramètres que les retenues modifient de façon significative (par rapport aux valeurs dans le cours d'eau) mais qui recouvrent progressivement leurs valeurs dans le réseau hydrographique à l'aval de la retenue. La notion de distance de retour est pertinente pour la température, la teneur en oxygène dissous et les concentrations en contaminants. Elle ne concerne pas les concentrations en azote et en phosphore. En effet, le phosphore est conservatif, le passage dans la retenue pourra modifier sa spéciation et sa biodisponibilité mais il ne reviendra pas forcément à des valeurs « naturelles » lors de son cheminement dans le réseau hydrographique.

3.2. Données nécessaires

- Le réseau hydrographique et la localisation des restitutions des retenues dans le cours d'eau, ce qui permet notamment de calculer la longueur de tronçon de cours d'eau entre deux retenues
- Des données physico-chimiques dans le cours d'eau sur l'ensemble du bassin versant avec leurs variations en fonction de la saison
- Les caractéristiques des retenues (profondeur, volume, temps de résidence...) qui permettent d'évaluer les impacts de la retenue sur la température et l'oxygénation et la gestion de la restitution (volume et période de restitution, profondeur dans la retenue de l'eau restituée...) pour évaluer l'intensité de la modification induite par la retenue dans le cours d'eau → Peut être remplacé par des mesures *in situ* des paramètres concernés en amont et en plusieurs points en aval de la restitution

3.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Ces calculs mettent en évidence un impact cumulé des retenues sur la physico-chimie.

Points faibles : Ces calculs nécessitent d'avoir de nombreuses données (mesurées ou modélisées) sur la physico-chimie des retenues et dans le cours d'eau, ce qui n'est pas évident à avoir, ou de transposer quelques observations à l'ensemble des retenues du bassin versant, ce qui induit de fortes incertitudes.

4. Perspectives concernant les études des processus physico-chimiques

L'Esco a mis en évidence plusieurs points qui semblent prometteurs dans le cadre de l'étude de l'impact cumulé des retenues mais qui nécessitent un peu de recherche et de développement pour être utilisables. Quelques pistes proposées ci-dessous pourraient être testées dans de futures études :

- améliorer la compréhension des facteurs qui contrôlent les processus physico-chimiques dans les zones humides pour rendre compte sur le bassin versant des effets des zones humides (notamment sur la qualité de l'eau) et l'impact de leur destruction au profit de retenue ou de leur restauration. Il serait intéressant de voir s'il est possible de faire un lien entre la physico-chimie de la rivière et la présence de zones humides sur le bassin versant : s'inspirer des métriques proposée par Johnston et al 1990¹⁵ (ESCo, rapport phase 2, chapitre 5, p96) ;

¹⁵ Johnston, C. A., N. E. Detenbeck et G. J. Niemi (1990). "The cumulative effect of wetlands on stream water quality and quantity - a landscape approach." *Biogeochemistry* 10(2): 105-141.

- mieux évaluer l'impact cumulé des retenues sur le phosphore. Éventuellement transposer le modèle existant POPEYE¹⁶ (conçu pour les rivières) pour estimer le stockage de phosphore par décantation dans les retenues ;
- le rapport N/P influence le type d'algues qui se développent en aval du bassin versant. Si ce rapport est déséquilibré, avec des concentrations en azote plus faibles, le développement de cyanobactéries est favorisé (certaines peuvent se montrer toxiques) ;
- des prospections sur la thermie seraient utiles pour mieux évaluer comment peuvent se cumuler impacts des retenues sur la température du cours d'eau. A part les mesures in-situ, aucune méthode actuelle n'existe pour évaluer ces impacts.

Les éléments présentés ci-dessous correspondent donc à des outils prometteurs mais qui ne sont pas encore utilisables en l'état.

4.1. Préciser la physico-chimie dans les retenues

Connaître les évolutions de la physico-chimie de l'eau dans les retenues permet de mieux évaluer leurs impacts sur la qualité de l'eau dans les milieux aquatiques où elles restituent de l'eau. Il est donc intéressant d'améliorer les connaissances du fonctionnement des retenues

4.1.1. Évaluer les coefficients d'élimination de l'azote et de rétention du phosphore par les retenues

A adapter

Selon l'Esco, les retenues peuvent jouer dans certains cas un rôle de zones tampons en permettant de résorber une partie des excédents d'azote de l'agriculture et de stocker du phosphore particulaire. La durabilité du stockage est un point clé pour évaluer l'impact sur le phosphore.

Principe de l'approche

Il est proposé d'estimer les **flux d'azote éliminés et les flux de phosphore stockés par les retenues**. La connaissance de ces flux permet d'évaluer les **coefficients d'élimination de l'azote et de rétention du phosphore**, qui peuvent être calculés à l'échelle d'une retenue mais aussi estimés pour l'ensemble du bassin versant.

Pour prendre en compte la **variabilité temporelle de ces flux d'azote/de phosphore entrants et sortants** d'une retenue, **qui est en général importante**, il convient de choisir judicieusement la **période à étudier**. Ces flux peuvent être calculés en moyenne mensuelle ou annuelle mais se placer dans une période « critique », où l'impact des retenues est le plus important, peut être aussi une bonne solution. Cependant, il est souvent difficile d'avoir accès aux données permettant de réaliser ces calculs (le flux s'obtient à partir des données de débit et de concentration, il faut donc mesurer les deux régulièrement dans le temps). Le cas échéant, ces calculs peuvent être réalisés pour quelques retenues caractéristiques du bassin versant, à partir d'observation et/ou de modélisation, et transposés à l'ensemble des retenues du bassin versant.

Pour étudier l'effet cumulé des retenues, les **coefficients d'élimination et de rétention** peuvent être calculés à partir de ces flux en sommant tous les flux sortants rapportés à la somme des flux entrant :

- $\frac{\sum \text{flux azote sortants}}{\sum \text{flux azote entrants}}$, ce qui donne une estimation des flux d'azote éliminés dans les retenues notamment par dénitrification ;

¹⁶ Trevisan D., Quélin P., Barbet D., Dorioz J.M. (2012), « POPEYE : A river-load oriented model to evaluate the efficiency of environmental policy measures for reducing phosphorus losses », Journal of Hydrology

- Σ flux phosphore sortants/ Σ flux phosphore entrants, ce qui donne une estimation des flux de phosphore stockés dans les retenues par décantation.

Ces coefficients de rétention peuvent être calculés pour une retenue mais aussi globalement à l'échelle d'un réseau hydrographique ou d'un bassin versant pour l'ensemble des retenues présentes sur la zone d'étude.

La valeur de ces coefficients va dépendre des différents contextes (climat et géologie du bassin versant, importance des apports d'azote et de phosphore dans les milieux aquatiques, ...), des caractéristiques des retenues considérées (profondeur de la retenue, sédiment en fond de retenue...) et à leurs modes de gestion (notamment la saisonnalité de flux d'eau) car l'importance des réactions de consommation d'azote et des processus de stockage du phosphore en dépendent. Ce coefficient devra donc être adapté.

Points d'attention : Généralement l'effet d'élimination des nitrates par dénitrification est **de moins en moins net vers l'aval**, lorsque le nombre de retenues augmente, à cause de la diminution des flux entrants et de la diminution de la stratification favorisant l'anoxie¹⁷ dans les retenues. L'effet cumulé n'est donc pas une simple addition des effets individuels car le fonctionnement des retenues aval dépend du fonctionnement des retenues plus en amont. Il faut bien garder à l'esprit que ce phénomène n'est pas pris en compte par le calcul proposé ici. Caractériser le phosphore total est rarement suffisant pour rendre compte d'un impact potentiel. Cette mesure pourrait être complétée par des évaluations de sa biodisponibilité.

Échelle : À l'échelle de retenues ou du bassin versant

Proposer un lien entre le coefficient de rétention et un indicateur de surface

Comme les données sur les concentrations en azote et en phosphore sont difficiles à obtenir, l'ESCO rapporte les propositions de plusieurs auteurs d'estimer le coefficient de rétention à partir de caractéristiques physiques de la retenue, notamment sa surface. Ils utilisent différents **indicateurs** faciles à obtenir, comme par exemple le pourcentage de surface occupée par la retenue (ou de surface de bassin drainé par la retenue) par rapport à la surface du bassin versant entier. Par un effet d'échelle, il suffit de sommer la surface occupée par l'ensemble des retenues pour extrapoler la rétention observée à l'échelle du bassin versant. Passy *et al*¹⁸ ont utilisé cet indicateur et montrent par modélisation que l'augmentation de la rétention de nitrate avec la surface du bassin occupée par des retenues augmente mais plafonne au-delà d'un certain seuil, qui correspond aux interactions entre retenues dès lors que leur nombre augmente et qu'elles se rapprochent les unes des autres sur le réseau hydrographique.

A adapter

Cependant, plusieurs auteurs¹⁹ ont montré que l'indicateur surfacique n'était pas parfaitement pertinent puisque, à surface totale égale, plusieurs petites retenues sont plus efficaces en termes de rétention d'azote qu'une grande retenue. L'effet cumulé des retenues est également lié à la distribution spatiale des différentes retenues et aux conditions spécifiques physiques et chimiques dans chacune d'entre elles, ce qui n'est pour l'instant pas pris en compte dans ces estimations. Des études plus détaillées pourraient permettre de proposer des indicateurs plus pertinents que la surface des retenues pour extrapoler leur coefficient de rétention.

¹⁷ Kelly, V. J. (2001). "Influence of reservoirs on solute transport: a regional-scale approach." *Hydrological Processes* 15(7): 1227-1249.

¹⁸ Passy, P., J. Garnier, G. Billen, C. Fesneau et J. Tournebise (2012). "Restoration of ponds in rural landscapes: Modelling the effect on nitrate contamination of surface water (the Seine River Basin, France)." *Science of the Total Environment* 430: 280-290

¹⁹ Bosch, N. S. et J. D. Allan (2008). "The influence of impoundments on nutrient budgets in two catchments of Southeastern Michigan." *Biogeochemistry* 87(3): 325-338. & Harrison, J. A., R. J. Maranger, R. B. Alexander, A. E. Giblin, P. A. Jacinthe, E. Mayorga, S. P. Seitzinger, D. J. Sobota et W. M. Wollheim (2009). "The regional and global significance of nitrogen removal in lakes and reservoirs." *Biogeochemistry* 93(1-2): 143-157.

Evaluer les apports d'azote et de phosphore dans les retenues grâce au modèle Nutting (Inra)

Le modèle Nutting, développé par l'Inra, fournit une boîte à outils pour estimer des flux et des rétentions d'azote et de phosphore dans les masses d'eau. Le modèle Nutting est un modèle conceptuel, calé statistiquement sur des observations, permettant de relier les pressions de nutriments (N ou P) aux flux aux exutoires de bassins versants, à partir des caractéristiques de ces bassins versants et du réseau hydrographique. Le modèle Nutting utilise un grand nombre de variables concernant : les pressions diffuses, les pressions ponctuelles, les caractéristiques du bassin versant et du réseau hydrographique, les flux à l'exutoire. Il a été développé de manière à n'utiliser que les bases de données disponibles aux échelles régionales ou nationales. Il fournit des estimations de flux spécifiques annuels moyens, et est calibré à partir des flux moyens observés sur une période de 5 années civiles. Sur cette base, deux modèles ont été développés : Nutting'N pour les nitrates (NO_3), considérant que c'est la forme essentielle des émissions d'azote, et Nutting'P considérant le P total (P_{tot})²⁰.

Croiser les flux et les rétentions apparentes obtenues permet de localiser et de qualifier l'importance des pressions et des impacts. Les zonages fournis par le modèle sont des sources d'informations qui peuvent être utilisées dans les études d'impacts. L'utilisation de ces modèles peut se révéler pertinente dans des contextes où l'information est faible, pour estimer par exemple les apports de nutriment dans des plans d'eau ayant de multiples tributaires non instrumentés.

À ce jour, les données utilisées et calculées sont **mises à disposition sur demande**. Dans un futur proche, elles seront mises en libre accès sur une infrastructure de donnée spatiale, permettant la navigation, l'interrogation et l'extraction de sorties de modèles²¹.

Données nécessaires

- Les **débits d'eau** en entrée et en sortie de retenue et leur **variabilité temporelle**
- Les **concentrations en azote/phosphore** en entrée et en sortie de retenue (en précisant bien les **incertitudes de mesures**, qui peuvent parfois être importantes) et leur **variabilité temporelle** (les processus physico-chimiques en jeu dans la dénitrification varient fortement avec les variations de température, d'oxygénation de l'eau et des populations bactériennes présentes ; les concentrations en phosphore, totales et biodisponibles, sont extrêmement variables selon le débit et le régime hydrologique). Il est donc nécessaire d'avoir accès à des données (obtenues via des observations ou de la modélisation) sur des durées assez importantes (ce qui est assez compliqué à avoir).

Avantages et inconvénients

Points forts : Permet d'estimer l'impact global des retenues sur les flux d'azote et de phosphore sur le bassin versant. Ces estimations peuvent être réalisées à plusieurs échelles (de la retenue ou du bassin versant).

Points faibles : En présence d'un grand nombre de retenues, connaître les flux en entrée et sortie, ou les processus dans chaque retenue, nécessitent des méthodes généralement lourdes à mettre en œuvre, d'autant qu'elles doivent prendre en compte des variabilités temporelles. Les coefficients d'élimination et de rétention calculés présentent en général de **très fortes incertitudes** et proposer une interprétation de ces coefficients est complexe, le fonctionnement du système ne se réduisant pas à une somme.

4.1.2. Trouver un lien entre le temps de résidence de l'eau et l'impact sur la

²⁰ <https://www6.rennes.inra.fr/umrsas/Outils-et-dispositifs/Outils/Nutting>

²¹ LEGEAY P.L., MOATAR F., BOUGON N., DERONZIER G., DUPAS R., GASCUEL-ODOUX C., Les modèles Nutting : un boîte à outils pour estimer des flux et des rétentions d'azote et de phosphore dans les masses d'eau, Sciences Eaux & Territoires, Hors-série n°31 - 2016

qualité de l'eau dans la retenue**A adapter**

On peut penser que plus l'eau reste longtemps dans la retenue, plus sa physico-chimie pourra être modifiée par les conditions lenticules qui y règnent. Suivant ce raisonnement, en connaissant le type de retenue et sa gestion, en connaissant le temps de résidence de l'eau dans cette retenue (voir fiche n°2), il pourrait être possible **d'estimer les modifications de la qualité de l'eau** suite à son passage dans une retenue.

Il ressort de l'Esco que le temps de résidence est **hétérogène** au sein d'une retenue, en fonction de la circulation de l'eau au sein de la retenue. Or la vitesse des écoulements joue un rôle très important sur les processus bio-géo-chimiques pouvant avoir lieu dans une retenue. Calculer un temps de résidence moyen pour une retenue n'est pas forcément représentatif des processus qui s'y déroulent. Le temps de résidence reste un indicateur potentiellement utilisable pour qualifier l'impact de la retenue sur la qualité de l'eau, c'est ce que l'on propose de vérifier ici.

Principe de la méthode

Il faut tester s'il est possible de trouver une relation entre le temps de résidence de l'eau dans la retenue et les processus physico-chimiques s'y déroulant. Il peut par exemple être intéressant de regarder les différentes formes de l'azote entrant et sortant de la retenue : les modifications du rapport entre les concentrations en nitrate et en ammonium peuvent donner une idée de l'importance des processus physico-chimiques se produisant dans la retenue. La décantation du phosphore particulaire entrant dans la retenue et les processus physico-chimiques qui s'y déroulent peuvent produire du phosphore dissous (à partir du stock particulaire) et donc périodiquement, saisonnièrement et à long terme être une source de phosphore biodisponible en aval des retenues. Il serait donc intéressant d'estimer si cela peut être mis en relation avec le temps de résidence de l'eau dans les retenues.

Les processus biologiques sont également importants à prendre en compte puisque de nombreux processus physico-chimiques sont catalysés par des activités biologiques : le niveau de trophie dans la retenue doit influencer l'importance des processus biogéochimiques s'y déroulant (importance et vitesse des réactions physico-chimiques). C'est donc un paramètre qui pourra être pris en compte.

Échelle : À l'échelle de la retenue

Données nécessaires

- Le temps de résidence de l'eau dans les retenues (voir la fiche méthodologique n°2 sur l'hydrologie)
- Le débit et la qualité de l'eau en amont et en aval des retenues et leurs évolutions saisonnières (ce qui est compliqué à avoir)

Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche permettrait d'estimer l'importance de processus physico-chimiques complexes à partir d'indicateurs hydrologiques plus simples à calculer.

Points faibles : L'ensemble de ces estimations présenterait de très fortes incertitudes. Elle ne permettrait que de donner des ordres de grandeurs de l'importance des processus physico-chimiques qui pourraient se produire dans les retenues. De plus, ces calculs ne permettent pas d'évaluer l'impact des retenues sur les milieux aquatiques puisque, même si l'on évalue la qualité de l'eau en sortie de retenue, l'impact sur les milieux aquatiques va également dépendre de la restitution de l'eau dans le milieu (période et importance de la dilution de l'eau restituée dans le milieu).

4.2. Modélisation du fonctionnement physico-chimique d'un bassin versant :

cas de l'azote

Les impacts des retenues sur la physico-chimie du bassin versant sont étroitement liés aux échanges d'eau entre les retenues et le cours d'eau. Des modélisations de la physico-chimie peuvent être réalisées en s'appuyant sur des modèles hydrologiques pour prendre en compte ces échanges. Cependant, le manque d'informations sur les nombreux processus physico-chimiques se déroulant dans les différents types de retenues et la multiplicité de leurs facteurs de variations rendent les modélisations physico-chimiques assez délicates à mettre en œuvre actuellement.

4.2.1. Utilisation de modélisations

A adapter

Comme cela est rapporté dans l'Esco, la modélisation des flux d'azote peut être utilisée pour évaluer l'impact cumulé des **retenues présentes** sur un bassin versant, via une étude en deux étapes :

- les flux d'azote issus du bassin versant sont **modélisés** sans tenir compte des retenues (bilan des flux d'azote apportés et consommés sur le bassin versant). La modélisation doit être validée sur un autre bassin similaire et sans retenue ;
- les flux d'azote modélisés sans retenues sont comparés avec les flux d'azote **mesurés** à l'exutoire du bassin versant, qui tiennent compte de l'effet cumulé des retenues. La différence correspond à la « rétention » d'azote par les retenues.

La modélisation des flux d'azote peut aussi être utilisée pour évaluer l'impact cumulé **de projets de retenues** sur un bassin versant, via une étude en deux étapes :

- la modélisation permettant le calcul des flux d'azote à l'exutoire du bassin versant (bilan des flux d'azote apportés et consommés sur le bassin versant hors influence des retenues -voir ci-dessus) doit intégrer un module représentant le **fonctionnement de chaque retenue** et donc son effet sur le bilan global. Un tel modèle peut être validé avec un suivi des flux réalisés sur le bassin versant avec les **retenues présentes**,
- puis il est possible de simuler **l'ajout de nouvelles retenues**²².

Ce type de modèle a été développé pour la recherche et les résultats publiés des simulations montrent bien que leur domaine de validité **est restreint au milieu étudié**. Il n'y a donc pas encore de méthode simple disponible pour réaliser ces modélisations sur un bassin versant. Une phase de recherche et de développement est nécessaire.

Les **modélisations** (modèle BARMAN ou SWAT) permettent de réaliser ces bilans à l'échelle du bassin versant drainé par une retenue, en modélisant à la fois les flux entrants et les transformations dans un réservoir interceptant et réalimentant les eaux de la rivière.

Échelle : À l'échelle du bassin versant

4.2.2. Données nécessaires

Ces modèles demandent beaucoup de données sur les intrants issus du bassin versant intercepté (type de culture, assolement, drainage, ruissellement...) qui, étant difficiles à mesurées, sont souvent estimées ce qui augmente les incertitudes.

²² Passy, P., J. Garnier, G. Billen, C. Fesneau et J. Tournebize (2012). "Restoration of ponds in rural landscapes: Modelling the effect on nitrate contamination of surface water (the Seine River Basin, France)." Science of the Total Environment 430: 280-290.

Pour ces modèles les données à collecter sont nombreuses :

- un modèle numérique de terrain ;
- les données d'occupation du sol et de pratiques de fertilisation ;
- les données climatiques ;
- les flux exportés sont mesurés lors des suivis (concentrations et débits) à l'exutoire du bassin versant. Ces suivis doivent prendre en compte la forte variabilité temporelle des exportations, le relais pouvant ensuite être pris, pour ne pas multiplier trop le nombre de mesures chimiques, en établissant une relation Concentration – Débit valable pour différentes conditions hydrologiques. Le calcul des flux exportés est alors réalisé généralement à l'échelle annuelle grâce à un suivi relativement serré du débit (données journalières ou haute fréquence selon la taille du bassin).

4.2.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Ces modèles sont prometteurs pour la question du cumul car ils ont vocation à modéliser les concentrations et les flux de nitrate d'emblée à l'échelle du bassin versant (voir Esco chapitre 5 physico-chimie, p 26).

Points faibles : Différents modèles du bilan de l'azote ont été développés pour d'autres thématiques (modélisation des flux en fonction du milieu physique, de l'occupation des sols et du climat, aux échelles journalières ou annuelles). Ces modèles peuvent être plus ou moins spatialement distribués, et doivent être **validés sur d'autres bassins similaires** et sans retenue. La mise en place de tels modèles sur un bassin versant demande un investissement important et une certaine expertise.

Fiche méthodologique :

Ecologie et fonctionnalité des habitats

5

Cette fiche méthodologique propose plusieurs outils, plus ou moins complexes, pour évaluer les modifications de l'écologie du bassin versant et de la fonctionnalité des habitats induites par la présence de nombreuses retenues sur le bassin versant et les impacts possibles de la création de nouvelles retenues. Les différents outils proposés dans la fiche concernent :

1. Diagnostic écologique des cours d'eau via les macro-invertébrés : l'outil diagnostic I2M2
2. Étude des populations piscicoles : utiliser l'Indice poissons rivière et ses données
3. Les méthodes éco-hydrologiques liées aux impacts hydrologiques : les approches « hydraulique et habitats » des méthodes EVHA et ESTIMHAB
 - 3.1. Principe des méthodes éco-hydrologiques
 - 3.2. Approche « hydraulique et habitats » des méthodes EVHA et ESTIMHAB
4. Outils nécessitant un développement supplémentaire et perspectives de recherche
 - 4.1. Réalisation de cartes de peuplement théorique pour identifier des dégradations du peuplement piscicole
 - 4.2. Méthode éco-hydrologiques : approche « hydrologique » de la méthode ELOHA
 - 4.3. Utiliser les populations de macrophytes comme indicateur des pressions liées à la présence de retenues
 - 4.3.1. L'IBMR et la création d'indicateur de « trait morphologique »
 - 4.3.2. L'IBML et son adaptation aux retenues

Des fiches décrivant les espèces protégées inféodées au milieu aquatique sont disponibles sur <http://www.onema.fr/Especies-aquatiques-protégees>. Les informations qui y sont fournies (les préférences d'habitat, leur sensibilité aux perturbations...) peuvent être croisées avec les impacts potentiels ou observés des retenues (hydrologie, hydromorphologie, qualité de l'eau) et leur saisonnalité pour fournir une première information sur la sensibilité des espèces et leur réponse à la présence des retenues.

1. Diagnostic écologique des cours d'eau via les macro-invertébrés : l'outil I2M2

L'indice invertébré multi-métrique (I₂M₂) a été développé pour répondre aux demandes de la DCE.

A ajuster

1.1. Principe

L'I₂M₂ est un indice multi-métrique qui permet, sur la base de métriques fonctionnelles et taxonomiques des communautés, de différencier les sites perturbés de sites dits « de référence », exempts de pressions anthropiques, ou légèrement impactés par celles-ci. Un outil diagnostic est disponible en complément de l'I₂M₂ pour identifier les pressions expliquant de manière la plus probable la dégradation des communautés biologiques observées.

L'outil « diagnostic » permet d'obtenir deux diagrammes représentatifs des pressions :

- chimiques liées à la qualité de l'eau : *matière organique, composés azotés, nitrates, composés phosphorés*, PES, acidification, métaux, pesticides, micropolluants organiques ;
- liées à la dégradation physique de l'habitat : ripisylve, urbanisation, *risque de colmatage, instabilité hydrologique*, anthropisation BV, voie de communication.

Figure 34 : Un exemple de résultat de l'outil diagnostic de l'I2M2

Figure 9.
Illustration des résultats obtenus par application de l'outil de diagnostic associé à l'indice invertébrés multi-métrique I₂M₂ sur un site du réseau de contrôle et de surveillance (RCS). Le diagramme radar de gauche illustre les probabilités pour le site d'être affecté par des pressions relatives à la chimie de l'eau, eu égard aux caractéristiques biologiques des espèces présentes. Le diagramme de droite illustre la probabilité pour le site d'étude d'être affecté par des pressions de type « dégradation de l'habitat ». Plus la probabilité d'atteinte est élevée, plus l'aire représentée en rouge s'étend vers l'extérieur du diagramme (cas de P3, P7 et P8 sur le diagramme de gauche). Le cercle pointillé représente une probabilité d'impact égale à 0,5.

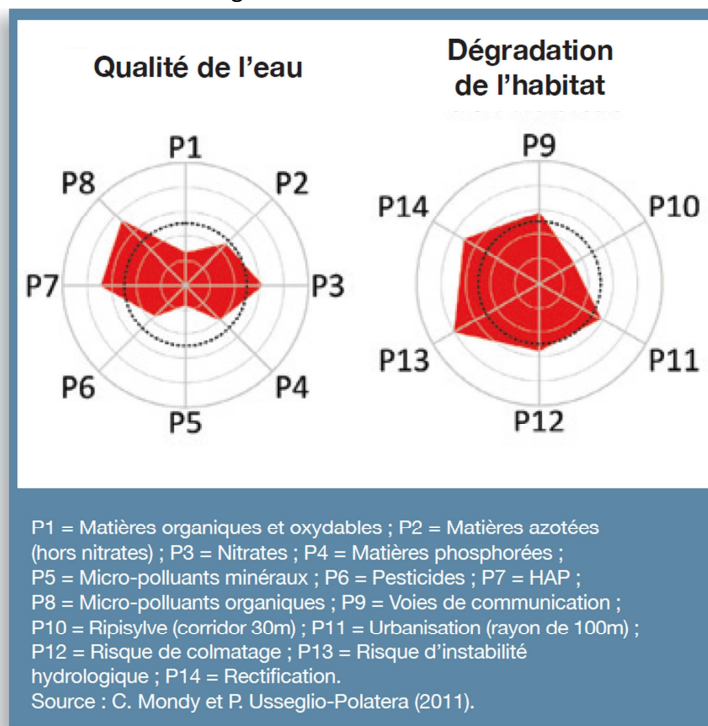


Figure issue de la synthèse « Les Rencontres de l'Onema ; Bioindication : des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques Perspectives en vue du 2e cycle DCE – Eaux de surface continentales » avril 2013 http://www.onema.fr/sites/default/files/bioindication-outils-d-evaluation_0.pdf

Cet outil peut donc être utilisé pour identifier les pressions s'exerçant sur le milieu, certaines de ces pressions pouvant être reliées en partie à la présence des retenues (en italique ci-dessus). Des études complémentaires

sont cependant nécessaires pour évaluer l'importance de la réponse spécifique de ces métriques à la présence de retenues.

Echelle : au niveau des sites de suivi des macroinvertébrés.

1.2. Données nécessaires

- Si des sites de suivis DCE des invertébrés sont présents sur le bassin versant étudié, il faut récupérer les données faunistiques disponibles.
- Sinon, il faut acquérir ces données en réalisant des suivis *in situ* en suivant le protocole de l'I₂M₂.

1.3. Avantages et inconvénients

Points forts : L'outil diagnostique de l'I₂M₂ permet d'identifier directement les pressions les plus probables impactant les sites d'étude.

Points faibles : Il faut qu'il y ait des stations de suivi DCE des invertébrés à l'amont et à l'aval des retenues (dans un périmètre pas trop lointain), sinon il faut réaliser des suivis spécifiques. Le lien entre les pressions identifiées via l'outil diagnostique et la présence de retenues doit être consolidé par des études, pour identifier la sensibilité des métriques à la présence de retenues.

2. Étude des populations piscicoles : utiliser l'indice poissons rivière et les données biologiques associées

L'indice poisson rivière (IPR) est actuellement utilisé dans le cadre de la DCE.

A ajuster

2.1. Principe

Le principe de calcul des notes IPR repose sur la comparaison des communautés observées avec celles théoriquement présentes en absence de pression anthropique, ou en présence de faibles pressions (dites situation « de référence »). Plus cet écart est important, plus la note IPR indique une situation dégradée. C'est un indice multimétrique, basé sur différentes métriques fonctionnelles représentatives des traits biologiques des espèces (préférence d'habitat, alimentaires, de reproduction).

Pour aller plus loin que la note IPR, il est possible d'analyser plus en détails les différentes métriques fonctionnelles constitutives de la note, et reflétant les préférences d'habitat, de reproduction et d'alimentation des espèces, voire les abondances et biomasses de certaines espèces-cibles directement, connues pour être sensibles aux dégradations du milieu (truite, chabot, etc.). Analyser en détail les espèces ou guildes d'espèces affectionnant les milieux lotiques le long du cours d'eau peut indiquer des perturbations de la biologie liées à la présence de retenues au fil de l'eau. Un focus sur les espèces omnivores peut permettre d'appréhender un enrichissement en matière organique du milieu, tandis qu'un focus sur les espèces lithophiles peut permettre de mettre en évidence des problèmes de colmatage du substrat.

Si des données sont disponibles en de nombreux points de la zone d'étude, il peut être possible de réaliser des cartes de répartition potentielle des espèces piscicoles recensées. En connaissant les enjeux de conservations des différentes espèces, il est alors possible de réaliser des cartes d'intérêt de conservation pour les espèces piscicoles. C'est ce qui est proposé avec des cartes d'intérêt de conservation proposées plus au paragraphe 4.1.

2.2. Données nécessaires

- Suivis piscicoles selon le protocole IPR/IPR+ avec le détail de l'ensemble des espèces recensées.
- Connaissance des caractéristiques (traits) biologiques des espèces recensées.

2.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Utilise des données déjà disponibles sur les sites de suivis DCE, indice utilisé en routine depuis plus de 10 ans par les services territoriaux de l'AFB.

Points faibles : Il faut qu'il y ait des stations de suivi des poissons à l'amont et à l'aval des retenues (dans un périmètre pas trop lointain), sinon il faut réaliser des suivis spécifiques.

3. Les méthodes éco-hydrologiques liées aux impacts hydrologiques : les approches « hydraulique et habitats » des méthodes EVHA et ESTIMHAB

3.1. Principe des méthodes éco-hydrologiques

L'objectif des méthodes éco-hydrologiques est de faire le lien entre l'hydrologie dans le cours d'eau et les espèces biologiques qui s'y développent, à l'échelle des tronçons du cours d'eau comme à l'échelle de bassins versants²³. Ces méthodes doivent permettre de prévoir l'impact de futures retenues sur les milieux aquatiques à partir des modifications hydrologiques (et la modification des débits) qu'elles induisent.

Points d'attention : Comme rappelé dans l'Esco (chapitre 6, p 47), l'utilisation de ces méthodes éco-hydrologiques nécessite au préalable une **bonne connaissance des altérations hydrologiques**, particulièrement là où les altérations hydrologiques sont notables et/ou les enjeux biologiques sont forts. L'utilisation de telles méthodes est donc à freiner en cas de forte incertitude hydrologique. De plus, ces méthodes ne concernent que les **altérations hydrologiques / hydrauliques à l'aval des ouvrages**, et ces altérations ne constituent qu'une partie des impacts des retenues.

Est décrite ci-dessous l'approche « hydraulique et habitats » qui peut être mise en œuvre. Est décrite dans les perspectives (partie 4) l'approche « hydrologique » qui doit faire l'objet d'une adaptation au contexte français.

3.2. Approche « hydraulique et habitats » des méthodes EVHA et ESTIMHAB

Les approches « hydraulique et habitats », ciblées **sur les débits bas à moyens**, couplent :

- **des modèles hydrauliques** qui décrivent les caractéristiques hydrauliques des micro-habitats (vitesses, hauteurs d'eau...) ;
- **avec des modèles biologiques** de préférence des espèces et/ou stades de vie et/ou groupes d'espèces pour ces caractéristiques hydrauliques (Figure 35).

Ce couplage permet de traduire certaines modifications hydrologiques en modifications de la qualité des habitats pour les organismes (le plus souvent les poissons et les macro-invertébrés). Ces modèles permettent de cartographier des valeurs d'habitat sur les tronçons de cours d'eau étudiés, qui reflètent la qualité de l'habitat hydraulique pour les espèces considérées, à l'échelle d'une station représentative. Lorsque les



²³ Lamouroux, N., B. Augeard, P. Baran, H. Capra, Y. Le Coarer, V. Girard, V. Gouraud, L. Navarro, O. Prost, P. Sagnes, E. Sauquet et L. Tissot (2016) "Débits écologiques : la place des modèles d'habitat dans une démarche intégrée." Hydroécologie appliquée

changements sont importants, ces approches ont apporté des prédictions convaincantes des effets biologiques des modifications **des débits d'étiages**.

Les approches « hydraulique et habitas » sont couramment utilisées en France avec des supports disponibles pour les poissons tels que Evha ou Estimhab.

- **EVHA** : évaluation de l'habitat physique des poissons en rivière
- **ESTIMHAB** : estimation de l'impact sur l'habitat aquatique de la gestion des cours d'eau

Les approches Evha et Estimhab proposées par Irstea utilisent des modèles d'habitat pour traduire les altérations hydrologiques en altérations hydrauliques, puis en altération de qualité de l'habitat hydraulique pour les organismes, essentiellement pour les poissons (bien que des solutions existent pour les macro-invertébrés).

Ces deux approches demandent des mesures topographiques/hydrauliques sur site pour le calage d'un modèle hydraulique, bien que des modèles d'habitat statistiques aient réduit l'effort de terrain.

3.2.1. Principe des approches EVHA et ESTIMHAB

Le logiciel EVHA permet l'évaluation de l'habitat physique des poissons en rivière, et constitue une aide précieuse à la détermination prévisionnelle d'un débit, voire d'un régime réservé en aval des barrages. La méthode EVHA est applicable à la station, sur des tronçons de rivière sélectionnés.

EVHA²⁴ est adapté aux rivières à truites qui ont servi de référence à l'élaboration des modèles. Elle consiste à relever la topographie des stations représentatives des tronçons étudiés ainsi que les données de **vitesse**, **hauteurs** et **granulométrie du substrat** sur des profils en travers judicieusement choisis sur ces stations. Après saisie et vérification des données, le modèle hydraulique inclus dans le logiciel EVHA permet un calcul des hauteurs et vitesses à **différents débits**. Les données physiques sont ensuite couplées au modèle biologique constitué de **courbes de préférences** établies pour différents stades vitaux des espèces modélisées. Ce couplage permet de calculer des surfaces potentiellement utilisables en fonction du débit, traduisant la notion de capacité d'accueil d'habitat favorable. Le nouveau module hydrologique permet ensuite d'analyser des chroniques d'habitat liées au régime hydrologique naturel et à des scénarios de régimes réservés, en fonction des stades et périodes considérés comme limitants.

Points d'attention : Le modèle numérique Evha ne fait plus l'objet de suivi et ne permet pas de modélisation numérique bidimensionnelle (2D) des écoulements.

Estimhab²⁵ est un modèle plus rapide et simplifié pour estimer les impacts écologiques de la gestion hydraulique des cours d'eau (modification des débits minimums, ajout/suppression de seuils).

Le mode opératoire d'Estimhab est moins coûteux. Sa seule contrainte est d'effectuer les mesures *in situ* à **deux débits distincts**, ce qui suppose de bien cibler les fenêtres d'intervention, en fonction de l'hydrologie connue du site. Estimhab donne des résultats très proches de ceux fournis par les méthodes des 'microhabitats' (logiciels Phabsim, Evha), à partir de variables d'entrée simplifiées (mesures de largeurs et hauteurs à deux débits). Par souci de simplicité et de facilité d'évolution, Estimhab est présenté sur tableur (Excel).

²⁴ Site de l'IRSTEA : <http://www.irstea.fr/evha>

²⁵ Souchon, Y., Lamouroux, N., Capra, H. and Chandesris, A. (2003). La méthodologie Estimhab dans le paysage des méthodes de microhabitat. Note technique, Cemagref Lyon, Unité Bely, Laboratoire d'hydroécologie quantitative, p.9

Échelle : Ces modèles sont utilisés le plus souvent à l'échelle des tronçons de cours d'eau sur des stations représentatives de chaque tronçon.

3.2.2. Données nécessaires

Ces deux méthodes nécessitent l'acquisition de **données sur le terrain** sur des tronçons de rivière ciblées.

EVHA : Une campagne de **mesures topographiques et hydrauliques** est nécessaire. La mise en œuvre de la méthode nécessite une prise de données sur le terrain dont les détails sont expliqués dans le guide livré avec le logiciel.

ESTIMHAB : Le protocole est de même nature que pour EVHA mais sans lever topographique ni calage de ligne d'eau. Il est nécessaire de connaître le **débit médian interannuel de la station ou Q_{50}** , calculé en situation naturelle ou en situation reconstituée sur une chronique de temps la plus longue possible (*a minima* 12 ans). Sur le terrain, sont relevés, sur des transects, les **largeurs du lit mouillé, les hauteurs d'eau et la taille moyenne du substrat**. Le même protocole doit être répété une **deuxième fois** à un débit suffisamment différent du précédent (écart minimum conseillé : $Q_2 > 2.Q_1$) ; la mesure du substrat est réalisée au débit le plus faible. C'est une opération qui peut facilement se coupler à une autre intervention de type pêche, échantillonnage de macroinvertébrés ou physico-chimie, pour limiter le nombre des déplacements.

3.2.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Ces approches permettent de faire le lien entre les modifications de l'hydrologie de la rivière liées à la présence de retenue avec les modifications des habitats pour la faune aquatique (principalement piscicole). Elles peuvent donc permettre d'expliquer ou de prévoir l'impact hydrologique induit par des retenues d'eau sur l'écologie.

Points faibles : Ces deux approches concernent essentiellement les **débits bas à moyens** (étiage) et elles ne sont applicables qu'à l'échelle de la station. Elles nécessitent l'acquisition de des données de topographie du lit en trois dimensions, avec des suivis de terrain à différentes périodes (pour différents débits), et une calibration hydraulique experte.

3.2.4. Référence de la méthode

<http://www.irstea.fr/dynam>

3.2.5. Un exemple d'étude utilisant une approche hydraulique et habitat : le guide du Creseb « débit minimum biologique (DMB) et gestion quantitative de la ressource en eau »

Ce guide, réalisé par le Creseb, se propose de répondre à la question : comment définir une gestion quantitative équilibrée de la ressource en eau dans les bassins bretons en intégrant la préservation des milieux aquatiques et la vie piscicole ? Il propose une démarche pour la gestion quantitative de la ressource en eau dans les bassins versants prenant en compte la vie piscicole. Il contient trois contributions complémentaires :

- comprendre le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des cours d'eau (Laurent Longuevergne, université de Rennes 1) ;
- caractériser l'hydromorphologie des cours d'eau au regard de la problématique des habitats piscicoles (Simon Dufour et Nadia Dupont, université Rennes 2) ;

- identifier les enjeux piscicoles d'un cours d'eau et la sensibilité des espèces aux étiages (Dominique Ombredane, Agrocampus Ouest-INRA).

En connaissant les débits, une modélisation hydrologique permet de simuler les hauteurs et les vitesses du cours d'eau. Cette modélisation est complétée par des observations du substrat présent en fond de lit. Pour les espèces piscicoles étudiées, sont établies des courbes de préférence d'habitat. En croisant l'ensemble de ces informations, les potentialités d'habitats sur un tronçon de cours d'eau sont établies pour chaque espèce étudiée.

Cette méthode pourrait être adaptée pour prévoir l'impact cumulé des projets de retenues.

Le guide est téléchargeable sur le site du Creseb : <http://www.creseb.fr/index.php/telechargement/func-startdown/423/>

4. Outils nécessitant un développement supplémentaire et perspectives de recherche

L'Esco a mis en évidence plusieurs points qui semblent prometteurs dans le cadre de l'étude de l'impact cumulé des retenues mais qui nécessitent un effort de recherche et de développement pour être utilisable. De plus, certaines thématiques n'ont pu être abordées dans ces fiches faute de méthode disponible pour les étudier mais il faut s'y intéresser dans de futures études. Quelques pistes proposées ci-dessous pourraient être testées dans de futures études :

- la continuité écologique sur un bassin versant et l'impact des retenues : quel peut être l'impact des déconnexions ? etc ;
- la prise en compte des espèces invasives et le lien qu'il peut y avoir avec l'implantation de retenue : étudier leur dispersion sur un bassin versant et leurs impacts sur les espèces autochtones ;
- les indices biologiques développés pour répondre à la DCE sont basés sur des métriques qui répondent plus ou moins à la présence des retenues. Il serait intéressant d'identifier les métriques présentant une réponse plus ou moins forte et liée à la présence de retenues (en s'inspirant de l'étude de Marzin et al. 2012²⁶) ;
- etc.

Les éléments présentés ci-dessous correspondent à des outils prometteurs mais qui ne sont pas encore utilisables en l'état.

4.1. Réalisation de cartes de peuplement théorique pour identifier des dégradations du peuplement piscicole

Les différentes espèces patrimoniales présentent des enjeux de protection plus ou moins importants. Chaque espèce présente donc des intérêts de conservation différents. En connaissant les espèces présentes, leurs intérêts de conservation et leur répartition sur un bassin versant, il est possible de délimiter des zones où sont présentes des espèces à forts enjeux et qu'il est donc intéressant de conserver.

A adapter

Des modèles écologiques qui permettent de modéliser la distribution des espèces piscicoles sont théoriquement attendues dans le type de cours d'eau étudié. Les cartes des assemblages de poissons prédits

²⁶ Marzin A., Archaimbault V., Belliard J., Chauvin C., Delmas F., Pont D. Ecological assessment of running waters : Do macrophytes, macroinvertebrates diatoms and fish show similar responses to human pressures ?, Ecological Indicators 23 (2012) 56-65

dans les cours d'eau peuvent être comparées avec les populations observées *in situ* et il est alors possible d'identifier des zones qui semblent présenter des assemblages piscicoles dégradés.

4.1.1. Principe de la méthode

Méthode :

- appliquer des modèles de niches écologiques pour prédire les assemblages de poissons dans le réseau hydrologique de la France ;
- comparer les assemblages de poissons prédits aux assemblages observés pour définir des zones « à protéger » lorsque les observations rejoignent les prédictions et d'autres zones « impactées » lorsque les assemblages de poissons observés sont très éloignées des assemblages prédits.

Points d'attention : Les cartes obtenues sont basées sur des modélisations de distribution d'espèces. Or, ces modèles produisent des cartes présentant une fiabilité qui n'est pas de 100 %. Notamment pour le modèle cité en référence, le modèle est valide dans 80 % des cas. Ce qui signifie que des espèces rares et localisées peuvent manquer dans les populations simulées. Les comparaisons sont alors difficiles avec les observations : s'il manque une espèce, on ne peut pas être sûr qu'il y a une dégradation/disparition, ni trouver la source de cette dégradation. L'interprétation de ces cartes doit donc être rigoureuse et justifiée.

Échelle : À mettre en œuvre sur tout le bassin versant

4.1.2. Données nécessaires

- Le réseau hydrologique
- Les données piscicoles
- Réaliser une modélisation écologique ou utiliser des cartes pré-existantes des assemblages de poissons prédits (disponible à l'échelle française : se rapprocher des auteurs de l'article)

4.1.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche permet de localiser des zones dégradées sur le bassin versant (vis-à-vis des populations piscicoles).

Points faibles : Cette méthode ne permet pas de déterminer le (ou les) facteur(s) de pression à l'origine de la dégradation du peuplement. Elle nécessite d'avoir à disposition sur le bassin versant de nombreuses données sur les populations piscicoles.

4.1.4. Référence de la méthode

Réalisation de carte d'intérêt de conservation : Maire A., Lafaille P., Maire J.-F. AND Buisson L., *Identification of Priority Areas for the conservation of stream fish assemblages: Implications for river management in France*, River Res. Applic. (2016)

4.2. Méthodes éco-hydrologiques : approche « hydrologique » de la méthode ELOHA

Les approches hydrologiques consistent à **quantifier les altérations de multiples caractéristiques du régime hydrologique** (étiages, crues, intensité et fréquence, durée et

A ajuster

saisonnalité des évènements...) et à chercher **empiriquement des relations** (via la bibliographie disponible) entre les altérations hydrologiques et les altérations biologiques. L'identification de relations directes entre hydrologie et biologie est une étape délicate (rapport Esco phase 1) et n'a pas encore été validée pour le contexte français.

La méthode « *Ecological Limits Of Hydrological Alteration* » (ELOHA) permet de définir des débits écologiques standards à l'échelle des bassins. C'est une des méthodes éco-hydrologiques les plus abouties et les plus utilisées.

Figure 35 : Les approches « hydrologique » et « hydraulique et habitats » (extrait de l'Esco chapitre 6)

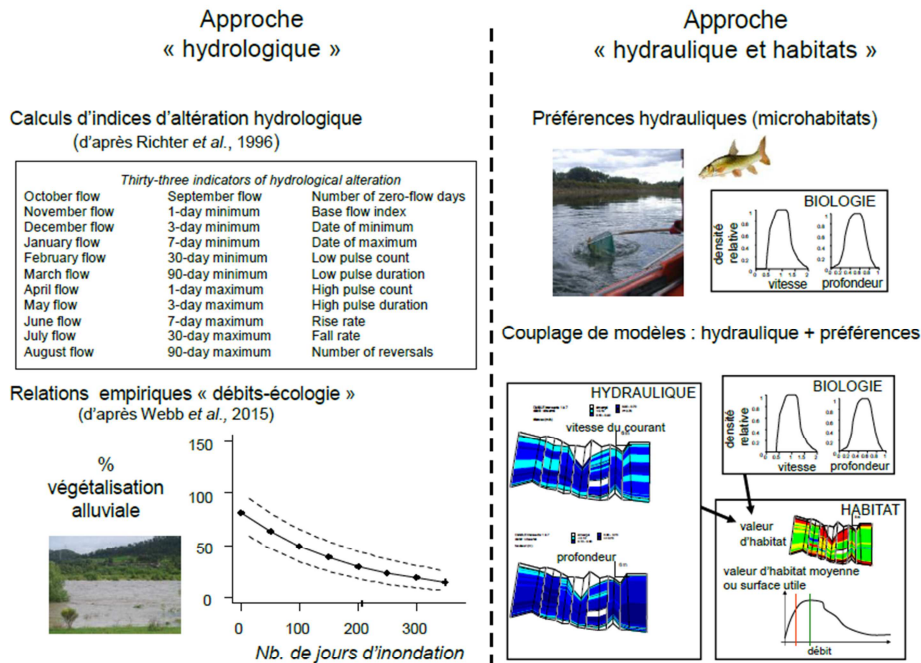


Figure 19 : Représentation simplifiée des approches "hydrologique" et "hydraulique et habitats" utilisées pour définir des débits écologiques. L'approche hydrologique quantifie la distance au régime naturel pour de nombreuses variables reflétant l'ensemble des aspects du régime, puis se base sur la recherche de relations empiriques "débits-écologie". L'approche habitat, ciblée sur les débits bas à moyens, utilise un modèle hydraulique pour décrire les caractéristiques hydrauliques du microhabitat des espèces (ex : vitesses, hauteurs d'eau) ; couplé avec des modèles biologiques de préférences hydrauliques, le modèle estime des altérations de valeur d'habitat ou de surface favorable dans le tronçon de cours d'eau (Extrait de Lamouroux, Augéard *et al.*, sous presse).

4.2.1. Principe de la méthode

ELOHA est une méthode hydrologique détaillée qui comprend :

- une description de l'ensemble des caractéristiques hydrologiques naturalisées des tronçons du cours d'eau concernés : caractériser la dynamique des débits (volumes cumulés, amplitude, extrêmes...) pour les différentes saisons ;
- une typologie de ces régimes hydrologiques naturalisés et une estimation de leurs altérations ;
- une recherche de relations empiriques débits-écologie (relations quantitative entre les altérations hydrologiques et leurs effets biologiques) par type de tronçons et de seuils d'altération de débits acceptable.

Les difficultés de mise en œuvre concernent notamment la recherche de relation débit-écologie et l'identification de limites acceptable d'altération qui demande pour l'instant un degré d'expertise important.

Échelle : À l'échelle de tronçons de cours d'eau

4.2.2. Données nécessaires

Nécessite d'avoir de nombreuses données physiques et biologiques sur la zone d'étude.

C'est pour cette raison que les études utilisant ELOHA ont souvent concerné des bassins à enjeux forts, riches en données physiques et biologiques.

4.2.3. Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche permet de faire le lien entre les altérations hydrologiques observées et les espèces qui peuvent se développer dans le cours d'eau.

Points faibles : Les liens entre l'hydrologie et la biologie n'ont pas été validés dans le contexte français. Cette méthode très ouverte est compliquée à mettre en œuvre car le lien entre les altérations hydrologiques et les altérations biologiques reste uniquement qualitatif, donc très difficile à déterminer sans un bon niveau d'expertise ou beaucoup de données.

4.2.4. Référence de la méthode

<https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/ELOHA/Pages/ecological-limits-hydrolo.aspx>

Une étude disponible utilisant ce type de méthode est l'étude des volumes prélevables (EVP) sur le bassin versant du Layon (réalisée par Safège, 2014) disponible en ligne :

<http://www.gesteau.fr/document/etude-sur-la-gestion-quantitative-de-la-ressource-en-eau-sur-les-territoires-des-sage-layon>

C'est la méthode RVA (*Range Value Analysis*) qui est utilisée pour déterminer les débits d'objectifs et les volumes prélevables, via un panel d'indicateurs hydrologiques permettant de caractériser au mieux la magnitude, la saisonnalité, la durée, la fréquence et le taux de variation d'un régime hydrologique.

4.3. Utiliser les populations de macrophytes comme indicateur des pressions liées à la présence de retenues

4.3.1. L'IBMR et la création d'indicateur de « trait morphologique »

Si l'indice biologique macrophyte en rivière (IBMR) fournit une information sur les modifications de la trophie dans le cours d'eau, il a été montré qu'il ne répondait pas forcément aux pressions des barrages (ESCo chapitre 6 p38). Il doit cependant être possible d'extraire des informations supplémentaires à partir d'une analyse plus fine des communautés de macrophytes en place pour établir un lien entre la présence de retenues et la répartition des espèces de macrophytes sur le bassin versant. De plus, le développement de certaines espèces (*Octodicerus fontanum* par exemple) peut être illustratif d'instabilité hydrologique.

Il semble possible d'extraire des données plus hydromorphologiques à partir de la liste des espèces issue des prélèvements de l'IBMR. Car si l'indice IBMR est seulement un peu perturbé par les variations physiques, il est montré que les macrophytes elles-mêmes réagissent aux conditions physiques, via notamment des modifications morphologiques de leurs traits de résistance au courant. Par exemple, le nénuphar jaune, que l'on connaît sous sa forme de feuilles flottantes dans les plans d'eau est très fortement présent en aval de

A adapter

barrage hydroélectrique, dans les secteurs à éclusée, sous son morphotype à feuille fines et translucides dans la colonne d'eau.

Principe

En partant des suivis effectués pour l'IBMR, il pourrait par exemple être possible de comparer le pourcentage d'espèces lenticques et celui des espèces lotiques. Le delta de ce pourcentage pourrait être comparé en amont et en aval des retenues, ou selon un gradient longitudinal. Ce delta pourrait traduire un effet des retenues sur les communautés de macrophytes aquatiques mais cela reste à étudier et à tester.

Pour aller plus loin, il pourrait être intéressant de créer un indicateur de « trait morphologique » des plantes aquatiques : en sélectionnant des traits morphologiques de certaines macrophytes qui évoluent dans les secteurs de restitution en déterminant le lien qu'il peut y avoir avec les impacts des retenues (hydrologiques, morphologiques ou physico-chimiques). Ce type d'indicateur nécessite d'approfondir les connaissances sur la réponse des macrophytes aux modifications de leur environnement (modifications de leur morphologie, de leur localisation...) et nécessitera par la suite des suivis de terrain spécifiques pour observer ces modifications de leurs traits morphologiques.

Toutes ces réponses des macrophytes aux pressions liées aux retenues sont à tester et à vérifier avant de pouvoir être utilisées pour le calcul d'indicateur dans les études de l'impact cumulé.

Données nécessaires

- Inventaires des macrophytes avec le détail de toutes les espèces inventoriées en relevant les traits morphologiques d'intérêts
- Identifier pour chaque espèce de macrophytes ses traits morphologiques et leurs modifications en réponse à diverses pressions liées aux retenues

Avantages et inconvénients

Points forts : Cette approche permettrait de faire le lien entre la biologie (les macrophytes) et les perturbations hydrologiques, hydromorphologiques ou physico-chimiques liées à la présence de retenues. Elle permet d'utiliser des données déjà disponibles sur des sites de suivis existants.

Points faibles : Il faut connaître les réponses morphologiques des macrophytes aux pressions liées à la présence de retenues et réaliser des inventaires de macrophytes en relevant les traits morphologiques présentant des évolutions liées à la présence des retenues. Il n'est sans doute pas évident d'identifier avec certitude la cause de ces modifications morphologiques.

4.3.2. L'IBML et son adaptation aux retenues

Un indice macrophyte a été développé en lac, c'est l'indice biologique macrophyte en lacs (IBML). Il n'est applicable que pour les plans d'eau faiblement marnant, ce qui n'est pas le cas de toutes les retenues. Il répond bien à l'eutrophisation, ou à la thermie. Cet indicateur pourrait être utilisé dans le cas des retenues d'eau qui sont des « lacs artificiels », comme un indicateur de la qualité global des retenues (intégrant la physico-chimie et l'hydrologie).

Quelques études sont cependant nécessaires pour vérifier la pertinence de cet indicateur dans le cas des retenues et pour déterminer s'il est possible de l'adapter à l'étude du cumul des impacts des retenues sur un bassin versant.

Inconvénients : les macrophytes ne se développent pas dans toutes les retenues (nécessite la présence d'un substrat, d'une profondeur et d'un marnage adapté dans la retenue).